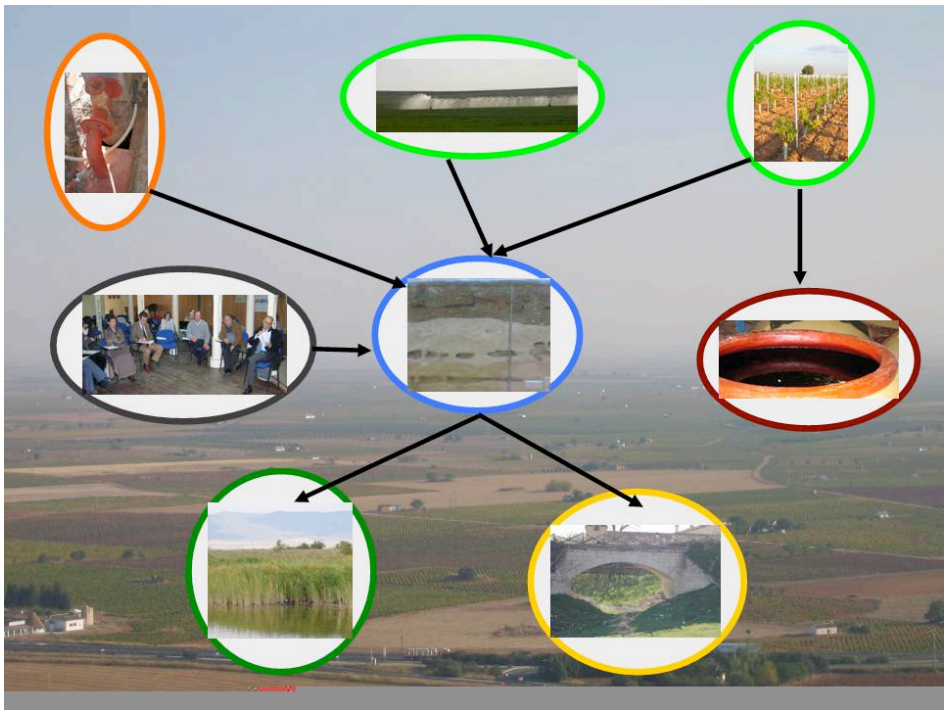
Análisis de la gestión del agua en el acuífero de la Mancha Occidental: construcción de una red bayesiana mediante procesos de participación pública



Pedro Zorrilla Miras

Tesis para obtener el grado de Doctor en Ecología y Medio Ambiente

Departamento de Ecología
Facultad de Ciencias
Universidad Autónoma de Madrid

Abril de 2009

Análisis de la gestión del agua en el acuífero de la Mancha Occidental: construcción de una red bayesiana mediante procesos de participación pública

TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR: Pedro Zorrilla Miras

DIRIGIDA POR:

Manuel Ramón Llamas Madurga
Catedrático Hemérito de Hidrogeología
Dpto. Geodinámica
Univerisdad Complutense de Madrid

Carlos Montes del Olmo
Catedrático de Ecología
Depto. de Ecología.
Universidad Autónoma de Madrid

África de la Hera Portillo
Investigadora Titular
Instituto Geológico y Minero de España

Departamento de Ecología
Facultad de Ciencias
Universidad Autónoma de Madrid

Madrid, Abril de 2009

Resumen

El acuífero de la Mancha Occidental es un caso paradigmático a nivel mundial en la gestión de recursos hídricos. El uso intensivo del agua subterránea para la agricultura de regadío ha sido uno de los motores principales de desarrollo económico en la zona, pero ha hecho descender el nivel del acuífero, provocando la desaparición o la degradación de importantes humedales, como las Tablas de Daimiel. Esto ha provocado conflictos sociales entre los grupos implicados en la gestión del agua (a grandes rasgos, agricultores, ecologistas y administraciones).

Hasta ahora, la gestión del agua en esta zona se ha realizado sin una amplia participación social de todos los interesados, si no que las decisiones se han tomado mediante contactos bilaterales entre los representantes de los grupos interesados, igual que en el resto de España. También ha faltado una visión de conjunto, que integre todos los temas relacionados con la gestión del agua en el acuífero. Además, en enero de 2008 se aprobó el Plan Especial del Alto Guadiana, un plan muy ambicioso (con un presupuesto de 5.500 millones de euros hasta 2027) para conseguir el uso sostenible del acuífero.

Esta tesis ha utilizado la técnica de las redes bayesianas para analizar la gestión del agua en este acuífero. Esto ha permitido conseguir tres tipos de resultados. Primero, el uso de esta herramienta de apoyo a la toma de decisiones ha aportado novedades en la gestión del agua en el acuífero de la Mancha Occidental. En segundo lugar, ha ayudado a realizar un proceso de participación pública utilizando la construcción de una red bayesiana, involucrando a los actores interesados en la construcción de una visión compartida; y tercero, ha profundizado en la metodología de las redes bayesianas, haciendo un experimento con nuevos métodos de análisis.

En relación con primer resultado, la red bayesiana de la Mancha Occidental ha ayudado a evaluar de forma integrada, teniendo en cuenta las opiniones de los grupos interesados, las consecuencias que diferentes medidas de gestión del agua podrán tener sobre: el nivel del acuífero, la producción económica del regadío y el empleo agrario en la región. De acuerdo a dicha evaluación, sólo si se aplicara completamente el Plan Especial del Alto Guadiana (PEAG), el acuífero podría recuperarse antes de 2027 (fecha impuesta por la Directiva Marco del Agua). Los resultados demuestran que una solución en la que "todos ganen", pasa por mantener los cultivos que más dinero y empleo produzcan por cada unidad de agua, como los leñosos (vid y olivo) o los hortícolas, y reducir drásticamente la superficie de cereales en regadío. Para recuperar el acuífero antes de 2027, se debería reducir la superficie de cereales regados, y no aumentar las de viñedo regado y las de hortícolas. La red bayesiana también ha servido para identificar incertidumbres y detectar vacíos de conocimiento, por ejemplo, la gran diferencia entre la superficie potencialmente regable o que se ha regado alguna vez y la regada realmente en la actualidad.

En relación al segundo objetivo, se ha construido una red bayesiana de forma participativa sobre la gestión del agua en este acuífero. Para ello se ha realizado un proceso de participación entre mayo de 2007 y abril de 2008. Además se ha evaluado dicho proceso así como la capacidad de las redes bayesianas para ser usadas como método de participación social.

Tercero y último, la investigación ha permitido profundizar en nuevas aplicaciones y métodos de las redes bayesianas, dirigiéndose a una de sus limitaciones, la falta de retro-alimentaciones entre sus variables. Para ello se ha construido una red bayesiana dinámica, y se ha comprobado que la herramienta *Object Oriented bayesian Network* es una forma relativamente sencilla y eficaz para hacerlo.

Esta tesis demuestra que las redes bayesianas son una herramienta apropiada para ayudar a tomar decisiones en la gestión integrada de recursos naturales, y especialmente, para organizar procesos de participación. Por lo tanto, se ven como un método apropiado y útil para el proceso de aplicación de la Directiva Marco del Agua. La investigación contribuye a entender mejor el potencial de una gestión adaptativa del agua en un contexto del sur de Europa y, en particular, en la gestión del agua del acuífero de la Mancha Occidental.

Abstract

The Mancha Occidental aquifer is a paradigmatic case in water resource management. The intensive groundwater use for agriculture has been one of the most important drivers of economic development in the region. At the same time, the plummeting of water levels has caused the disappearance or severe degradation of many valuable groundwater-fed wetlands. This has triggered social conflicts among water stakeholder groups in the area (farmers, environmental groups and public authorities).

In the past, water management in the Mancha Occidental has rarely fostered broad and open public participation processes. Conversely, decisions have often been taken based on bilateral meetings between the public authorities and the different stakeholders. This approach has hampered the achievement of a holistic vision of the problems related to groundwater use in the area. In January 2008 the Special Plan for the Upper Guadiana (PEAG) was approved. This Plan has been allotted a budget of 5,500 million Euros over the period 2007-2027 and aims at achieving a sustainable water use of water in the aquifer.

This Dissertation has applied bayesian networks techniques to the complex socio-economic and environmental problems of the aquifer. This has allowed us to achieve three main results. First, this decision-support tool has shed new light on the different variables intervening in the management of the aquifer. Second, it has helped to engage all the stakeholders in the construction of a shared understanding of the problem; third, it has contributed to improve the capabilities of bayesian networks in general by testing and validating new analysis methods.

In relation to the first achievement, the bayesian network of the Mancha Occidental aquifer has helped evaluating the effects of different water management actions on: aquifer levels, agricultural production and the farming employment in the region. According to that evaluation, the Mancha Occidental aquifer could recover before the year 2027 (as required by the Water Framework Directive) only if all measures of PEAG were fully implemented and the irrigated land significantly reduced. A possible "win-win" solution for all the stakeholders in the area could be maintaining the existing irrigated vegetables and vineyards, whilst drastically reducing the production of irrigated cereals. The bayesian networks also contributed to identifying current data gaps or biases, linked e.g. to the estimated and actually irrigated farmland.

In relation to the second objective, one innovation in this Dissertation is the evaluation of bayesian networks as participatory tool. The use of bayesian networks in the Mancha Occidental has confirmed their great value for supporting integrated and adaptive water resources management in complex contexts with strong water uses conflicts. Indeed bayesian networks have proved their ability to integrate different types of data and uncertainties, and to facilitate participatory processes.

This Dissertation has improved the performance of existing bayesian networks by addressing one of its main limitations, i.e the lack of feedbacks between the variables. The application of new dynamic bayesian networks to the study area has shown that the so called *Object Oriented Bayesian Network* is a relatively easy and efficient method for the construction of dynamic bayesian networks.

This Dissertation ultimately claims that bayesian networks are a suitable support tool for an integrated and participatory approach to water resources management, as required by the Water Framework Directive. Moreover, the present work has contributed to better understanding the potentialities of adaptive water management in a specific context in Southern Europe and, in particular, in the Mancha Occidental aquifer.

Agradecimientos

Quiero agradecer a Ramón y África por haberme brindado la oportunidad de participar en el proyecto NeWater, y por toda la ayuda que me han dado. Valoro enormemente, de verdad, que me resolvieran las dudas que me iban surgiendo, y que me encarrilaran para terminar la tesis. Su experiencia y trabajo han sido imprescindibles para que la tesis sea útil. También a Carlos Montes, que me ha dado indicaciones valiosas.

Quiero agradecer al equipo de la Universidad Complutense de Madrid: Elena, Maite, Fermín, Merche, Pedro y Nuria por tanto tiempo compartido y por su ayuda. Gracias a ellos la tesis ha quedado mucho mejor (por ejemplo, respectivamente: tablas de servicios (y mapas), huella hidrológica, conclusiones prácticas, apoyos incontables, funcionamiento hidrológico y proceso de participación). Especialmente a Lucia de Stefano, por avisarme de la existencia de esta beca, por ayudarme en distintas etapas de la tesis y por alquilarme casa en la Latina.

Quiero agradecer a Consuelo Varela por todas sus aportaciones al trabajo y sus recomendaciones durante estos dos años…a ver cuándo mejoro mi inglés! También a Gema Carmona, compañera en la construcción de redes bayesianas en el Guadiana, con la que he compartido tiempo, trabajo de campo, publicaciones, reuniones y entrevistas (algunas muy difíciles!) con las partes interesadas. También a Paloma e Irene, con las que he compartido participación en diversos eventos del proyecto NeWater y realizado varios viajes. También agradecimiento a José Luis (becario del IGME), que me ayudó mucho en Oxford, aunque no nos encontráramos la primera noche!

I would like also to thank to Hans J. Henriksen (GEUS), John Bromley (OUCE), Per Rasmussen (GEUS) and Finn Jenssen (Aalborg U.), for their great support in the construction of BNs and specially their help during my visits there (funny lunches and tennis game!). I wanted to say thank you also to York von Korff (Lisode), who helped me in the development and evaluation of the participatory process.

Un agradecimiento muy especial a todos los participantes del proceso de participación para construir las redes bayesianas, que son los que sufren cada día los problemas de la gestión del agua, y sin los que este trabajo no tendría sentido: a José Ángel Rodríguez Cabellos, y a David Peracho, de la CHG; a Ángel González, Francisco Gómez y Cecilio Arévalo, de la Consejería de Agricultura de la JCCLM; a los representantes de las comunidades de regantes del acuífero Mancha Occidental: Agustín Apio, Bernardo Roncero, Araceli Olmedo e Isabel Villaseñor; a José María Oñate, representante de COAG-Castilla la Mancha, que nos enseñó no sólo sus viñas, si no también la pasión por la agricultura; a Alberto Fernández Lop, gran experto del agua de WWF/Adena y a Celsa Peiteado; a José Manuel Hernández, de Ecologistas en Acción-Ciudad Real; y a David Howell, de SEO-Birdlife.

También quería dar las gracias a Paz, del Servicio de informática de la UCM, por haber salvado la vida del portátil en situaciones criticas. Y a Cándido Millón, por haberme ayudado en la edición de la tesis.

Seguro que hay gente que se me escapa y cuya ayuda ha sido muy importante, gracias a ellos y perdón por no acordarme en el momento de escribir estas líneas.

A mis compañeros de la UAM, a los que abandoné, y con los que conviví en mis primeros dos años de doctorado, especialmente a Erik, Pedro, Berta (que me ha ayudado mucho con los trámites de la tesis), Marina, Nacho y Carla.

A todos mis amigos (argandeños y scouts, santamarieros y estudieros (ampliados), ambipures, santugenios, mexicanos, gantianos, futboleros...) por preguntarme por la tesis, por apoyarme y animarme, y también por ayudarme a desconectar. Especialmente a Jose, que me dio consejos prácticos muy útiles, y a Claudio Calvaresi, que en su día me animó a continuar el doctorado.

Un agradecimiento especial para mi familia (Maite, Rafael y Alegría), por su apoyo mental y físico durante toda la duración del doctorado. Y por su entusiasmo e interés en lo que he hecho, en especial por la tesis, de la que me han ayudado a corregir varios capítulos. También a mis abuelos, especialmente a Paco y Avelina que siempre se han interesado por mí y la tesis este tiempo.

Y a Celia, que me ha ayudado mucho todo este tiempo, siguiendo día a día mis avances, escuchando mis dudas y dándome consejos de todo tipo muy útiles. Por esperarme cuando salía de "currar" a horas muy tardías, y por ayudarme a descansar. También me ha ayudado en las largas correcciones de la tesis. Gracias por todo!

ÍNDICES

Índice General

Índice Detallado

Índice de Tablas

Índice de Figuras

Abreviaturas

AOGCM: *Atmosphere-Ocean General Circulation Model* (Modelos de circulación global de la atmósfera y los océanos)
ASAJA: Asociación de Jóvenes Agricultores
BN: red bayesiana. En inglés reciben diferentes nombres: *Bayesian Networks, belief networks, Bayesian belief networks, Bayes nets,* o *causal probabilistic Networks*
CAIWA: *International Conference on Adaptive and Integrative Water Management*
CEDEX: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CHG: Confederación Hidrográfica del Guadiana
COAG-IR: Confederación de Agricultores y Ganaderos-Iniciativa Rural
COAG: Confederación de Agricultores y Ganaderos
COP: Cereales, Oleaginosas y Proteaginosas
DMA: Directiva Marco del Agua
DOCE: Diario Oficial de la Unión Europea
FAO: *Food and Agriculture Organization* (Organización para la alimentación y la agricultura)
FEADER: Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural
GEUS: *Geological Survey of Denmark and Greenland* (Instituto Geológico Danés)
GWP: *Global Water Partnership*
IGME: Instituto Geológico y Minero de España
INE: Instituto Nacional de Estadística
INM: Instituto Nacional de Meteorología
IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change* (El Panel Intergubernamental de Cambio Climático)
ISQ: *Instituto de Soldadura e Qualidade*
IWRM: *Integrated Water Resource Management* (gestión integrada de recursos hídricos)
JCCM: Junta de Comunidades de Castilla la Mancha
LIC: Lugar de Interés Comunitario
MAPA: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
MEA: *Millenium Ecosystem Assessment*
MERIT: *Management of the Environment and Resources using Integrated Techniques*
MIMAM: Ministerio de Medio Ambiente
NeWater: *New approaches to adaptive water management under uncertainty* (Nuevas aproximaciones a la gestión adaptable del agua bajo la incertidumbre)
OCM: Organización Común de Mercado
OMC: Organización Mundial del Comercio
OON: Object Oriented Bayesian Network
OUCE: *Oxford University-Center for the Environment* (Universidad de Oxford)
PAC: Política Agraria Comunitaria
PCR: Plan de Compensación de Rentas
PEAG: Plan Especial del Alto Guadiana
RAE: Régimen Anual de Extracciones
RD: Real Decreto
UAM: Universidad Autónoma de Madrid
UCM: Universidad Complutense de Madrid
UE: Unión Europea
U.H.: Unidad Hidrogeológica

UNESCO: *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)
UPM: Universidad Politécnica de Madrid
SCENES: *Water Scenarios for Europe and Neighbouring States*
SEO/*BirdLife*: Sociedad Española de Ornitología
SGOP: Servicio Geológico de Obras Públicas
SIAR: Servicio de Información y Atención al Regante
SRES: *Special Report on Emission Scenarios* (Escenarios de emisiones que ha utilizado el IPCC)
TPC: Tablas de probabilidad condicional
UNDP: *United Nations Development Programme* (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo)
UPA: Unión de Pequeños Agricultores y ganaderos
UTA: Unidad de Trabajo Agrícola
WMO: *World Meteorological Organization* (Organización Meteorológica Mundial)
WWF/Adena: *World Wild Fund*
ZEPA: Zona de Especial Protección para las Aves

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

NECESIDAD DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN INTEGRADA Y ADAPTATIVA DEL AGUA DEL ACUÍFERO DE LA MANCHA OCCIDENTAL

1.1 ANTECEDENTES

La presente Tesis Doctoral, "Análisis de la gestión del agua en el acuífero de la Mancha Occidental: construcción de una red bayesiana mediante procesos de participación pública", ha sido desarrollada entre el Departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), el Departamento de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Además se ha realizado en colaboración con la Escuela de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), con el Instituto Geológico Danés (Geological Survey of Denmark and Greenland, GEUS) y con la Universidad de Oxford (Oxford University-Center for the Environment, OUCE).

Los trabajos relativos a la misma se han llevado a cabo con una beca predoctoral del Proyecto Europeo NeWater, "Nuevas aproximaciones a la gestión adaptable del agua bajo la incertidumbre" (New approaches to adaptive water management under uncertainty), nº 511179 (GOCE) perteneciente al VI Programa Marco de investigación de la Comisión Europea. Dicho proyecto engloba a 44 equipos de investigación de 15 países, y tiene como finalidad buscar nuevas formas de hacer frente a los actuales desafíos que presenta la gestión del agua. El proyecto ha utilizado siete casos de estudio de Europa, África y Asia, y uno de ellos ha sido la cuenca del río Guadiana.

El agua es uno de los elementos imprescindibles para la vida en la Tierra. Es uno de los elementos que determina el funcionamiento de los ecosistemas, así como de la sociedad humana. El agua tiene un comportamiento complejo, al que se suma la complejidad de los ecosistemas y de la sociedad. Su gestión es difícil como recurso natural, pero todavía lo es más por las interacciones propias de las sociedades humanas. Actualmente, nos encontramos frente a múltiples dificultades para gestionar el agua, lo que genera problemas ambientales y sociales. Los más importantes a escala mundial son: la escasez de agua (causada, en parte, por la variación espacial y temporal, por la incertidumbre en la disponibilidad y por la competencia entre usos alternativos), problemas de calidad del agua (causados, en parte, por vertidos urbanos e industriales, por otras fuentes de metales pesados y por pesticidas y fertilizantes agrícolas) y los desastres humanitarios relacionados con el agua (UNESCO-WWAP 2003). Estos problemas afectan principalmente a la salud de la población, al desarrollo socioeconómico (hay una gran relación entre el agua y la pobreza), y a la biodiversidad y sostenibilidad ambiental.

Frente a todos estos problemas surge el reto de solucionarlos o, por lo menos, mitigarlos. En la búsqueda hacia la mejor gestión del agua, las iniciativas más significativas han sido el Congreso del Agua de las Naciones Unidas en Mar del Plata (1977) y la Conferencia de la Tierra en Río de Janeiro (1992). Como resultado de un largo proceso, del que forman parte los anteriores hitos, se fue construyendo el concepto de gestión integrada del agua, que se concretó en 1992 en el Congreso sobre

Agua y Medio Ambiente en Dublín, donde se aprobó la declaración de Dublín (1992) (Bromley, 2005). Este concepto parte de la idea de que la gestión del agua debe hacerse con un enfoque holista, en el que se tenga en cuenta al mismo tiempo (de forma integrada) el ciclo hidrológico, y su interacción con otros recursos y ecosistemas, y todos los aspectos y consecuencias de la gestión del agua, es decir, incluyendo aspectos sociales, ambientales y económicos, en especial sus diferentes usos, funciones y servicios (Global Water Partnership, 2000).

Más recientemente se está extendiendo la idea de la gestión adaptable (propuesta por primera vez por Holling, 1978), y en el proyecto NeWater se ha intentado aplicar dicha idea a la gestión integrada del agua (Pahl-Wostl, 2007a). En concreto, se ha investigado la transición desde los sistemas tradicionales de gestión de cuencas hidrográficas hacia sistemas más adaptables.

Para llevar a la práctica la gestión integrada y adaptativa del agua, se requieren herramientas, algunas ya existentes, pero también otras nuevas que hasta ahora no se habían utilizado. En este contexto surgió la idea hacer una tesis sobre una herramienta con mucho potencial y que está todavía en fase de investigación: las redes bayesianas.

Las redes bayesianas son modelos que relacionan unas variables con otras mediante relaciones causa-efecto. Esta relación lineal se basa en la regla de Bayes de probabilidad condicional, para saber cómo influyen unas variables de partida sobre las variables objetivo (ver capítulo de "Metodología" para más información). Se utilizan para distintos fines, siendo los más frecuentes: investigación, sistema de ayuda a la toma de decisiones, y organizar procesos de participación pública.

Como se explica en profundidad en los siguientes apartados, la problemática de la gestión del agua subterránea en la cuenca alta del río Guadiana, uno de los siete casos de estudio del proyecto europeo NeWater, es paradigmática a nivel mundial desde hace muchos lustros (Llamas, 1988; Fornés *et al.*, 1999). En concreto, el territorio que ocupa el acuífero de la Mancha Occidental (también conocido como "Acuífero 23"), en la cuenca alta del río Guadiana, se ha escogido como área de estudio de esta investigación.

Desde la década de 1970, las extracciones de agua subterránea para cultivos de regadío, han hecho descender el nivel del acuífero de la Mancha Occidental, que es la principal fuente de agua de la región (Llamas, 1988; Llamas *et al.*, 1996; Cruces *et al.*, 1997). Esto ha procodado graves problemas ambientales, principalmente el deterioro de los ecosistemas que dependen del agua del acuífero. Numerosos humedales y miles de hectáreas de ecosistemas ligados al agua se han secado por completo (Llamas y García Rodríguez, 1992; SGDGOH, 1993; Llamas *et al.*, 1996;). El más famoso de ellos es Las Tablas de Daimiel, humedal que reúne las máximas categorías de protección ambiental a nivel nacional e internacional: Parque Nacional, Humedal incluido en la lista Ramsar y Reserva de la Biosfera de la UNESCO. La extracción intensiva de agua subterránea también ha servido para evitar la despoblación y para producir importantes mejoras socioeconómicas en la región.

Esta situación ha degenerado en conflictos entre grupos ecologistas y asociaciones de agricultores, así como entre los propios agricultores y la Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG). Un factor añadido, ha sido que casi la mitad de las extracciones se hacen sin el permiso de la CHG, siendo el seguimiento y el control de las extracciones

casi imposible. La CHG ha llevado a cabo diferentes iniciativas para resolver estos problemas, pero hasta ahora no han sido efectivas.

La Directiva Marco del Agua aprobada en el año 2000 (DOCE, 2000) exige alcanzar un "buen estado ecológico (cuatitativo y cualitativo)" del agua y de sus ecosistemas asociados, antes del año 2015 (y como tarde, después de dos prórrogas, en el año 2027). Para conseguir dicho objetivo, la CHG ha aprobado en enero de 2008 el Plan Especial del Alto Guadiana (PEAG). El presupuesto de este plan son 5.500 millones de euros hasta el año 2027. Incluye acciones concretas, como la compra de derechos de uso de agua a los agricultores (para evitar que rieguen en el futuro), el cierre de los pozos que no tengan derechos, la legalización de pozos que hasta ahora no tenían derechos, un plan para forestar las tierras que vendan sus derechos, y otras medidas para impulsar la agricultura de secano.

La ejecución actual del PEAG se está encontrando con nuevas dificultades, y su ejecución final es una incógnita (en el apartado 2.4.6 "Plan Especial del Alto Guadiana", se describe su ejecución hasta principios del año 2009).

1.2 EL PROYECTO EUROPEO NEWATER

La gestión del agua se enfrenta a nuevos retos debido al aumento de las incertidumbres como consecuencia del cambio climático y de los cambios socio-económicos globales (Pahl-Wostl, 2007b). Por dicha razón se hace necesario comenzar un nuevo tipo de gestión de las cuencas hidrográficas, para que sea más adaptable y, de esta forma, supere con éxito posibles cambios imprevistos en los momentos de planificación. Esto requiere hacer un estudio profundo del funcionamiento de los sistemas socio-ecológicos y de los sistemas de gestión de cuencas.

El proyecto europeo NeWater es una iniciativa de investigación que aspira a proporcionar el marco conceptual y las herramientas necesarias, para lograr la transición de los sistemas actuales de gestión de cuencas hidrográficas a sistemas de gestión adaptables. La gestión adaptativa se puede definir com un proceso sistemático de diseño, ejecución y evaluación de diferentes medidas, que permita comparar sus resultados y, de esta forma, mejorar la gestión cambiando las siguientes medidas, adaptándolas según los resultados obtenidos (Gunderson *et al.*, 1995). Por eso, el proyecto NeWater trata de desarrollar nuevos métodos y herramientas que faciliten el cambio hacia una gestión adaptable de los recursos hídricos a nivel de cuenca, concediendo una importancia crucial al proceso de aprendizaje social.

El proyecto europeo NeWater ha utilizado siete casos de estudio correspondientes a siete cuencas hidrográficas, cuatro europeas, dos africanas y una asiática: Nilo, Rhin, Amudarya, Elba, Tisza, Orange y Guadiana. La coordinación de las investigaciones en la cuenca del río Guadiana dentro de este proyecto, corresponde oficialmente al equipo de investigación del Departamento de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid, dirigido por el profesor Ramón Llamas, que ha trabajado en estrecha colaboración con los equipos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid (Departamento de Economía Agraria) y del Instituto Geológico y Minero de España (Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica), al mismo tiempo que con otros equipos del proyecto NeWater, como el *Instituto de Soldadura e Qualidade* (ISQ), con el que se colaboró para estudiar las

relaciones transfronterizas en la gestión el río Guadiana. Para más información se puede consultar la página web del proyecto: http//www.newater.info.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El proyecto europeo NeWater nació de la aspiración de buscar e investigar nuevas herramientas que pudieran servir a los técnicos y gestores, para gestionar el agua de forma integrada y adaptable. Más en concreto, el concepto de "gestión adaptable e integrada de recursos hídricos" incluye considerar las incertidumbres, el riesgo, las distintas escalas espaciales y temporales, la participación pública, los aspectos financieros, la resiliencia del sistema, la vulnerabilidad y también la integración de los diferentes aspectos de la gestión del agua.

Hay muchos tipos de herramientas de gestión de los recursos hídricos aplicados a la gestión integrada del agua. El Global Water Partnership contempla los siguientes grandes tipos (www.gwpforum.org, en Bromley, 2005):

- Evaluación de recursos hídricos
- Planes para gestión integrada
- Gestión de la demanda
- Instrumentos de cambios sociales
- Solución de conflictos
- Herramientas de regulación
- Herramientas económicas
- Gestión del intercambio de información

Las herramientas para la evaluación de los recursos hídricos se pueden agrupar en dos grandes grupos que se complementan entre sí, uno de ellos engloba modelos que tratan de reproducir la realidad y, el otro, sistemas de apoyo a la toma de decisiones.

Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones sirven para reunir datos de diferentes orígenes y para conseguir que las decisiones se tomen con un mayor conocimiento del sistema gestionado (Bromley, 2005). Otra característica es que deben realizarse con la participación de los actores interesados, entre otros motivos para obtener información de mejor calidad. Hay muchos tipos de sistemas de ayuda a la toma de decisiones, por ejemplo diagramas de influencia, árboles de decisiones, modelos matemáticos, análisis multicriterio, etc. (Marakas, 1999; Cain, 2001). Una parte importante de las investigaciones en esta dirección se han centrado en modelos informáticos que permitan la comunicación entre los grupos de interés (Inman, 2008): sistemas dinámicos, redes bayesianas, metamodelos, análisis de riesgos, "*coupled component models*", modelos "*agent-based*" y sistemas expertos (Jakeman and Letcher, 2003). La elección entre estos métodos depende del tipo de problema y del contexto en el cual se va a desarrollar el sistema de soporte a la toma de decisiones.

De ellos, los sistemas que trabajan con probabilidades tienen la ventaja, frente a sistemas deterministas, de que permiten examinar la incertidumbre del objeto de estudio, por ejemplo valorando los datos existentes según la incertidumbre que introduzcan en el análisis de los datos. En el acuífero de la Mancha Occidental existen numerosas fuentes de incertidumbre que hacen muy complejas la planificación y gestión de sus recursos hídricos. Existe falta de conocimiento tanto en los datos

existentes (Serna y Gaviria, 1995: superficie realmente regada, consumo de agua real de cada cultivo, etc.) como en los cambios socioeconómicos (reforma de la Política Agraria Comunitaria (PAC), acuerdos de la Organización Mundial del Comercio (OMC)) y ecológicos (cambio climático) que puedan producirse en el futuro. Por tanto, se estimó que sería necesario que la herramienta investigada permitiera examinar las incertidumbres del sistema, que es también uno de los elementos centrales del proyecto europeo NeWater.

En este trabajo se seleccionaron las redes bayesianas como herramienta potencialmente útil para: a) la participación de las partes interesadas, b) el estudio integrado del sistema y c) encontrar lagunas de conocimiento. Otras potencialidades de las redes bayesianas que aconsejaban su utilización son (Bromley, 2005; Inman, 2008):

- Permiten estimar el nivel de determinismo del modelo construido, es decir, un conocimiento vago se traduce en tablas de probabilidad poco "deterministas", con mucha aleatoriedad (Varis y Kuikka, 1999).
- Pueden ser útiles y tener una buena precisión, incluso con grupos de datos pequeños.
- Se pueden unir a otras herramientas analíticas (Jensen and Nielsen, 2007), como a modelos económicos (Carmona and Varela-Ortega, 2007) e hidrológicos.
- La construción de redes bayesianas sirve para articular el pensamiento en la forma del modelo construido (Marcot *et al.*, 2001).
- Permiten introducir datos de distinta naturaleza, tales como económicos, hidrológicos, sociales, etc., ya que se introducen en forma de probabilidades.
- Su naturaleza gráfica y su simplicidad visual facilitan la interacción con los grupos de interés (stakeholders) aunque tengan distintos niveles de formación (Batchelor and Cain, 1999; Cain, 2001).
- Desde el punto de vista de la participación, al igual que otras metodologías como los mapas cognitivos, las redes bayesianas, al obligar a simplificar y organizar el sistema en cuestión, ayudan a que los participantes abran y reorganicen sus mapas mentales, haciéndoles ver otras realidades distintas a su visión cotidiana (Henriksen and Barlebo, 2008), promoviendo la construcción de nuevos pensamientos e ideas (Parson, 1996).
- Pueden servir para la gestión adaptable, ya que el descubrimiento de nuevos datos puede introducirse en el modelo, cambiando las probabilidades anteriores, de forma relativamente rápida y fácil.

Las redes bayesianas en inglés reciben diferentes nombres (*Bayesian Networks, belief networks, Bayesian belief networks, Bayes nets,* o *causal probabilistic Networks*), expresiones todas ellas equivalentes y abreviadas de aquí en adelante como BN. Se conocen desde hace mucho tiempo en estadística, pero han comenzado a aplicarse como herramienta de ayuda a la toma de decisiones a partir del desarrollo de la informática (Pearl, 1986 y Spiegelhalter and Knill-Jones, 1984), porque permitió hacer los cálculos de forma mucho más rápida (Jensen and Nielsen, 2007).

Su aplicación a la gestión de recursos hídricos es relativamente reciente, y todavía hay aspectos de su aplicación y desarrollo que requieren más investigación con el fin de llegar a explotar y aprovechar todo su potencial. Los resultados obtenidos en diferentes proyectos para la gestión de los recursos hídricos (Babovic *et al.*, 2002; Soncini-Sessa *et al.*, 2003; Henriksen and Barlebo, 2008; Bromley *et al.*, 2005; Martín

de Santa Olalla *et al.*, 2007) indican que las redes bayesianas son una herramienta útil para facilitar la colaboración en la planificación y gestión bajo importantes incertidumbres. Sin embargo, todavía hay espacio interesante para investigar, ya que, por ejemplo, ninguno de los trabajos consultados había realizado una evaluación de las redes bayesianas como herramienta de participación pública, aspecto que aborda también la presente tesis.

En la gestión del medio ambiente las redes bayesianas tienen principalmente dos usos potenciales complementarios: a) como herramienta de ayuda a la toma de decisiones y b) como herramienta de participación pública. En este trabajo las redes bayesianas se han utilizado con ambos fines a la vez: para construir una herramienta útil para la toma de decisiones, mediante un proceso participativo.

Las redes bayesianas se utilizaron en España en 2004 en la gestión del agua de otro acuífero, el de la Mancha Oriental (Albacete), en el contexto del proyecto europeo MERIT (Martín de Santa Olalla *et al.*, 2007). La presente investigación sigue una línea metodológica similar, pero con importantes diferencias, siendo las principales:

- Un proceso de participación más organizado y con mayor participación de las partes interesadas
- La evaluación de dicha participación
- La construcción de una red bayesiana dinámica
- La mayor importancia que se da a la recuperación del acuífero y de sus humedales asociados.
- La situación socio-política del área de estudio, ya que el proceso de aprobación del Plan Especial del Alto Guadiana, al mismo tiempo que se realizaba la presente investigación, ha permitido evaluar políticas de gestión del acuífero que van a ejecutarse en la práctica.

En la situación actual del acuífero de la Mancha Occidental, con los graves problemas y conflictos que hay, tras la aplicación de diferentes soluciones sin éxito, existía la necesidad de desarrollar nuevas herramientas, visiones y propuestas. Esto era todavía más necesario cuando estaba en proceso de aprobación el PEAG, con un presupuesto tan alto. La aplicación de las redes bayesianas al acuífero de la Mancha Occidental ha permitido estudiar de forma integrada todos los elementos que intervienen en la gestión del agua, explicitar las incertidumbres más importantes, e identificar los vacíos de conocimiento principales. Además, mediante el proceso de participación pública desarrollado para la construcción de la red bayesiana, se ha mejorado el conocimiento del sistema por parte de los actores principales, y las relaciones entre ellos.

1.4 OBJETIVOS

A continuación se explican qué aspectos de las redes bayesianas se han identificado como poco explorados, y cuáles fueron los principales objetivos fijados para su investigación en el acuífero de la Mancha Occidental.

1.4.1 Objetivos metodológicos

Como objetivos metodológicos más importantes se han escogido:

1. **Evaluar las redes bayesianas como herramienta de participación**. En diversos trabajos que han utilizado las BN como herramienta de participación, se afirma que son útiles para organizar procesos participativos. Sin embargo, apenas hay trabajos que hayan evaluado de forma rigurosa dichos procesos de participación y la utilidad de las BN como herramientas de participación. El único encontrado es Henriksen and Barlebo (2008), como se explica en el capítulo 4, "Proceso de participación con las partes interesadas".

2. **Construir una red bayesiana dinámica, a partir de un proceso de participación, aplicada a la gestión de recursos hídricos**. Una de las limitaciones más importantes de las redes bayesianas es que no permite hacer retroalimentaciones ni representar sistemas dinámicos en el tiempo. Esta es una gran limitación para representar sistemas socio-ecológicos, en los que hay un gran número de retroalimentaciones que, además, están continuamente cambiando. El desarrollo de las redes bayesianas dinámicas es todavía escaso en número y reducido en extensión, por lo que la simple construcción de una red bayesiana dinámica ya es, por sí misma, una aportación importante de esta tesis.

3. **Investigar y evaluar las diferentes opciones que existen para la construcción de redes bayesianas dinámicas, y conocer las limitaciones que presenta una de ellas.** Las herramientas informáticas existentes para construir redes bayesianas todavía no tienen aplicaciones óptimas que permitan construir BN dinámicas. Sin embargo, hay varios métodos que se pueden adaptar para construir redes bayesianas, por lo que es interesante explorar su potencial y utilidad.

1.4.2 Objetivos propios del área de estudio

Además este trabajo tiene unos objetivos aplicados al acuífero de la Mancha Occidental:

4. **Desarrollar una metodología que aporte un nuevo punto de vista integrador a la gestión de los recursos hídricos en el acuífero de la Mancha Occidental**. Como se explica en apartados posteriores, la gestión del agua en el Alto Guadiana es muy compleja y se enfrenta a numerosos problemas sociales y ambientales. El conocimiento que se tiene del acuífero de la Mancha Occidental, que es su principal fuente de agua, es relativamente alto, así como de sus principales usos. Sin embargo, hasta muy recientemente la desconfianza entre los principales actores era muy elevada, hecho que impedía un libre intercambio de información, y había muchos aspectos oscuros que dificultaban y dificultan su gestión. Durante los últimos años esta situación ha mejorado, y se hacía necesario estudiar el sistema de forma holista.

5. **Evaluar con datos numéricos las consecuencias que las distintas políticas de gestión propuestas**, principalmente en el Plan Especial del Alto Guadiana (PEAG), y los condicionantes externos, podrán tener sobre las condiciones socioeconómicas (ingresos agrarios y empleo) y naturales (estado del acuífero y de los humedales) de la zona estudiada. Este objetivo se concreta en construir una red bayesiana que sea útil para tomar decisiones de gestión en el acuífero de la Mancha Occidental.

6. La participación de las partes interesadas en la gestión del agua de la Cuenca del Guadiana, hasta recientemente, se ha limitado a contactos informales y bilaterales entre los representantes de los principales grupos involucrados. Por lo tanto, la participación real de los interesados apenas existía. Esta fue la razón por la que se creyó conveniente aplicar una metodología de participación pública, que continuase la labor de los dos primeros años del NeWater, y que contribuyese a:

    a. **Disminuir el ambiente de conflicto entre los interesados: ayudar a limar diferencias y acercar posturas.**

    b. **Fomentar la participación pública.**

    c. **Evaluar el proceso de participación para aprender lecciones que puedan ser utilizadas en el futuro en el área de estudio.**

7. **Detectar las mayores incertidumbres y vacíos de conocimiento relacionados con la gestión hídrica en el acuífero de la Mancha Occidental**.

1.5 PLANTEAMIENTO DE LA TESIS

Los distintos aspectos descritos previamente se concretan en los siguientes capítulos:

El presente capítulo uno, "Introducción", proporciona una aproximación somera a los trabajos que se desarrollan en los capítulos posteriores, e incluye los antecedentes, una breve descripción del proyecto europeo NeWater, la justificación, los objetivos, y termina con este apartado, en el que se explica el planteamiento del documento.

El capítulo dos, "Caracterización del Área de estudio", comienza describiendo los límites físicos del área de estudio y su justificación para, a continuación, hacer una rápida descripción de las condiciones ambientales en la que se enmarca y de las características socioeconómicas de dicha región. Termina con una descripción de los acontecimientos que han llevado a los problemas actuales. Esta presentación pretende servir para comprender mejor los capítulos posteriores.

En el capítulo tres, "Metodología de las redes bayesianas" se explica qué son las redes bayesianas y cómo funcionan, se expone su relación con la gestión integrada y adaptable, y se describe el método seguido para la construcción de la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental.

El capítulo cuatro, "Proceso de participación con las partes interesadas", hace una revisión de los métodos de participación existentes, para saber en qué se diferencian las redes bayesianas de otros métodos parecidos. A continuación se explica el método de participación que se ha desarrollado, y el método aplicado para evaluar las redes bayesianas como herramienta de participación pública. Termina exponiendo los resultados de la evaluación, tanto del proceso de participación, como de las redes bayesianas como herramienta de participación.

El capítulo cinco, "La red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental" se centra en la red bayesiana construida mediante dicho proceso de participación. Primero, se explica brevemente cómo funciona la red bayesiana, es decir, cómo representa la gestión del agua en el acuífero. A continuación se especifican todas las variables contempladas, las relaciones entre ellas, y las probabilidades que definen dichas relaciones.

El capítulo seis, "Resultados de la red bayesiana", describe los principales resultados de la red bayesiana. Para ello, primero se analizan variables concretas que tienen especial importancia. Una vez que se ha aportado dicha información, se exponen los resultados obtenidos al aplicar diferentes escenarios de gestión. Por último, se presenta una serie de simulaciones para recuperar el acuífero manteniendo una situación socioeconómica próspera.

El capítulo siete, "Red bayesiana dinámica del acuífero de la Mancha Occidental", comienza explicando el concepto de red bayesiana dinámica y su diferencia con una red bayesiana normal. A continuación, se explican los métodos existentes para construir redes bayesianas dinámicas y los problemas de cálculo que presentan. A partir de dicha explicación, se analiza la red bayesiana dinámica construida y los resultados que aporta. Se termina incorporando las limitaciones y necesidades de investigación futura que se han encontrado.

El capítulo ocho, "Conclusiones", recopila los resultados fundamentales tanto de la red bayesiana en sí misma, como del proceso de participación; plantea posibles líneas futuras de investigación, y concluye con sugerencias para la gestión de los recursos hídricos en el Alto Guadiana.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se presenta una recopilación del marco contextual del acuífero de la Mancha Occidental. En ella se describen primero los rasgos físicos y sociales más importantes, y posteriormente se explica la gestión del agua que se ha realizado hasta ahora. El objetivo de este capítulo es proporcionar al lector un conocimiento básico para entender los problemas existentes en la zona. Los antecedentes existentes son abundantes. Desde 1975 a 1993, el antiguo Servicio Geológico de Obras Públicas ha realizado por lo menos 19 informes sobre la hidrogeología de la zona (por ejemplo: SGOP, 1975; SGOP, 1986; SGDGOH, 1989; SGDGOH, 1993). El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) también ha publicado varios informes sobre la hidrogeología de la zona (IGME, 1980; IGME, 1985). Además se han realizado un buen número de tesis doctorales relacionadas con la gestión del agua de esta zona: describiendo la geometría del acuífero (Esnaola, en prensa), construyendo modelos de funcionamiento hidrogeológico (Martínez Cortina, 2001 y Martínez Santos, 2007), analizando los humedales y sus problemas de conservación (Fornés, 1994; Montero, 1994; Peinado, 1994; Casado, 1996; García, 1996; Sánchez Pérez, 1997; de la Hera, 1998; López Sanz, 1998), estudiando la normativa legal que regula el uso del agua (González Monterrubio, 1992), analizando las diferentes políticas desarrolladas en distintos acuíferos (López Gunn, 2003). El presente capítulo constituye una síntesis de las características de la zona de estudio, con especial énfasis en los problemas de gestión del agua.

A lo largo de la presente tesis doctoral se denomina "acuífero de la Mancha Occidental" a la Unidad Hidrogeológica 04.04, que antiguamente se llamaba Acuífero 23, y que después de la transposición de la Directiva Marco del agua (DMA) ha sido dividida en tres masas de agua (Mancha Occidental 1, Mancha Occidental 2 y Rus-Valdelobos; Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Unidades Hidrogeológicas y Masas de Agua Subterránea de la cuenca alta del Guadiana. Fuente: página web de la CHG (2006c) y Martínez Cortina (2003).

Sistemas acuíferos	Nombre unidad hidrogeológica	Superficie (ha)	Nombre masa de agua subterránea	Superficie (ha)
S-20:Mancha de Toledo	U.H.04.02: Lillo - Quintanar	101.355	Lillo - Quintanar	110.170
	U.H.04.03: Consuegra-Villacañas	120.220	Consuegra- Villacañas	160.570
S-19: Sierra de Altomira	U.H.04.01: Sierra de Altomira	270.700	Sierra De Altomira	257.520
S-23:Mancha Occidental	U.H.04.04: Mancha Occidental	512.650	Rus-Valdelobos	171.650
			Mancha Occidental II	239.620
			Mancha Occidental I	200.280
S-24:Campo de Montiel	U.H.04.06: Campo de Montiel	258.220	Campo de Montiel	220.020

2.1 LÍMITES FÍSICOS Y SU JUSTIFICACIÓN

La Confederación Hidrográfica del Guadiana ha hecho una nueva definición de los acuíferos con motivo de la implementación de la Directiva Marco del Agua, a efectos de realizar el Plan de Gestión de Cuenca de acuerdo a dicha norma comunitaria. De esta forma, la Unidad Hidrogeológica 04.04 Mancha Occidental (llamado popularmente "Acuífero 23") ha sido recientemente subdividida en tres masas de agua: Rus-Valdelobos (que está compuesta también por una parte de la antigua U.H. Sierra de Altomira), Mancha Occidental I y Mancha Occidental II (Tabla 2.1 y Figura 2.1). Sin embargo, debido a que la unidad de gestión hídrica hasta la actualidad ha sido la U.H. Mancha Occidental, y no las masas de agua subterráneas cuyos límites se han definido recientemente, los límites geográficos de la presente tesis doctoral son los de la U.H. Mancha Occidental, a la que a lo largo de la presente tesis se denomina "acuífero de la Mancha Occidental".

Los límites del acuífero de la Mancha Occidental son al norte, de oeste a este, las primeras colinas de los Montes de Toledo (Sierras de Malagón, Calderina y la Cueva), Puerto Lápice y Monte Navajo, los afloramientos rocosos del Paleozoico de Alcázar de San Juan, y las estribaciones de la Sierra de Altomira en los pueblos de Las Pedroñeras y San Clemente. Al este, el límite es la divisoria entre las cuencas del Júcar y del Guadiana (difícil de establecer por su relieve llano y su carácter endorreico). El límite sur, viene determinado por el Campo de Montiel, las Sierras de Calatrava, la Sierra Prieta, los montes del norte de Valdepeñas y la depresión de Almagro. Al oeste, el límite los forman la Sierra de Majedos, la Sierra Cazalobos y la Sierra de Malagón.

El acuífero de la Mancha Occidental ocupa una superficie de 512.000 ha, que administrativamente se reparten entre la provincia de Ciudad Real (un 80%) y las de Albacete y Cuenca (un 10% cada una).

El acuífero de la Mancha Occidental se encuentra en la Cuenca del Río Guadiana, y más en concreto, en la parte central de la cuenca alta del Río Guadiana (Figura 2.1). La cuenca alta del Río Guadiana se encuentra situada en el nordeste de la submeseta meridional Castellana. Comprende la cuenca que drena el río Guadiana hasta el río Jabalón incluido, y ocupa una extensión aproximada de 1.890.000 ha (Figura 2.2) (CHG, 2008).

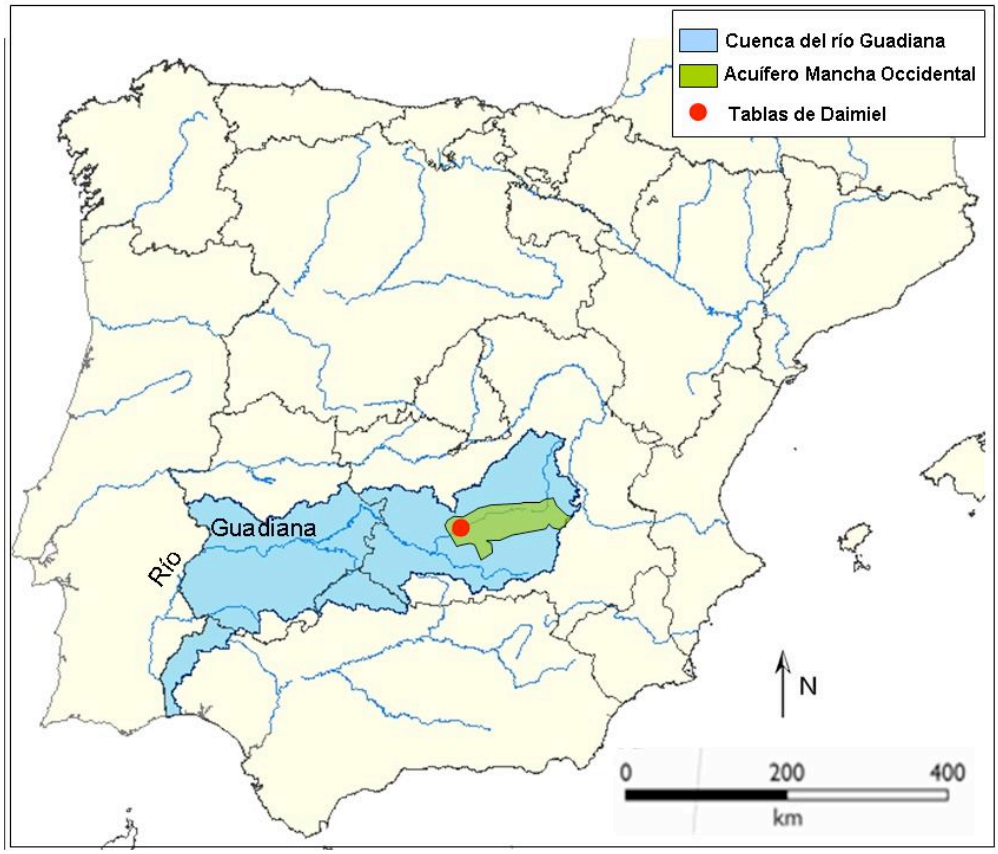


Figura 2.1. Mapa de situación: Cuenca del río Guadiana, acuífero de la Mancha Occidental y Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. Fuente: Elaboración propia.

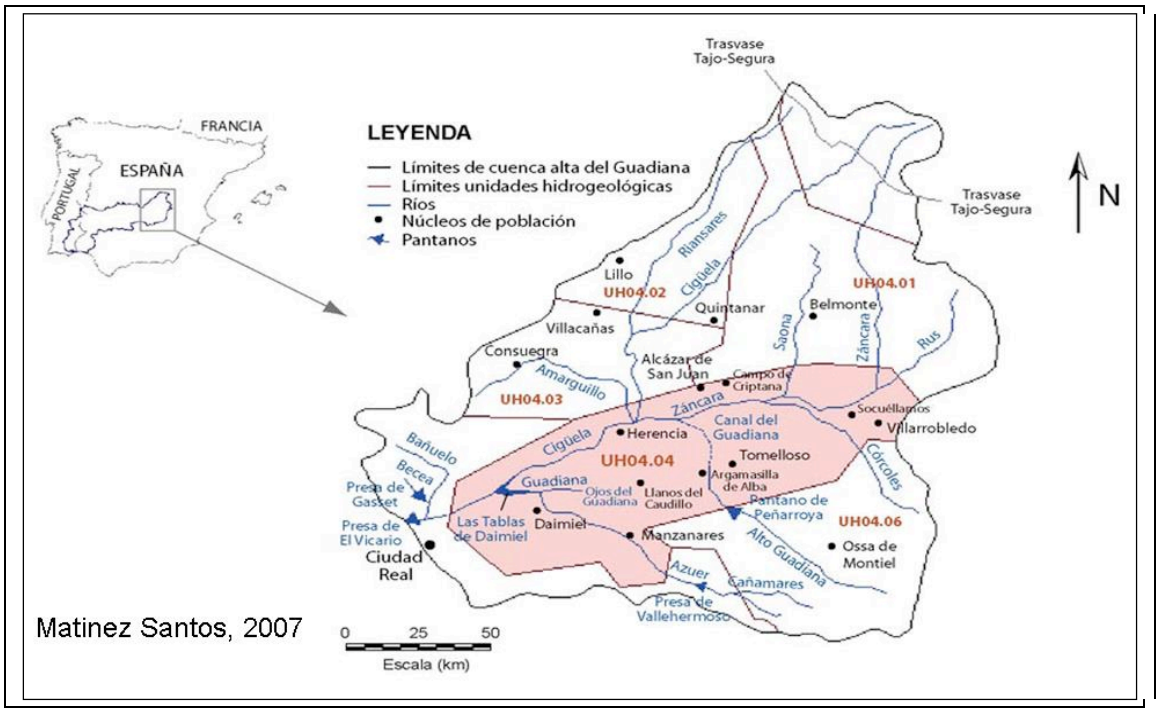


Figura 2.2. Mapa de las unidades hidrogeológicas de la cuenca alta del río Guadiana. Fuente: Martínez Santos, 2007.

Hay cuatro características geo-físicas que condicionan la gestión de los recursos hídricos en la cuenca alta del río Guadiana, y por tanto, también en el acuífero de la Mancha Occidental:

- La primera es que el relieve es muy plano, lo que provoca que tenga una red de drenaje poco definida.

- La segunda, es que los terrenos sobre los que se asienta contienen un conjunto de importantes acuíferos.

- La tercerra característica geo-física es que la conexión con el resto de la Cuenca del Guadiana se produce prácticamente en un solo punto: en el río Guadiana a la altura del embalse de El Vicario.

- La última característica física que influye en la gestión de los recursos hídricos son las condiciones climáticas. El clima es mediterráneo-continental, siendo de los climas más áridos de España, con una precipitación anual media de 400 mm/año (Página web de la Agencia Estatal de Meteorología) y con unas temperaturas en verano elevadas que provocan que la evapotranspiración potencial anual sea mayor que las precipitaciones. Esto hace que la salida de agua de la cuenca alta hacia el resto de la cuenca nunca haya sido muy importante. Actualmente, la presa de El Vicario, que se utiliza para abastecimiento urbano y regadíos principalmente, hace que la aportación de agua al resto de la cuenca del Guadiana todavía sea más pequeña. Por ello, mucha gente considera que, en la práctica, la cuenca alta del Guadiana funciona hidrológicamente de forma casi independiente respecto del resto de dicha demarcación hidrográfica (utilizando la terminología de la DMA), es decir que están casi desconectadas.

Las características que se han explicado hacen que en el Alto Guadiana haya una red de pequeños ríos, y un conjunto de grandes acuíferos, y que la hidrología de esta región presente una importante y compleja interacción entre las aguas superficiales y las subterráneas (Llamas, 1988 y 1989). Los ríos se comportan como ganadores o perdedores de agua con respecto a los acuíferos, dependiendo del tramo del cauce y de la meteorología.

Los acuíferos de la cuenca alta del río Guadiana son, en su mayoría, de naturaleza carbonatada, lo que significa una porosidad elevada y una alta capacidad para almacenar y transmitir agua, que además es de buena calidad (bicarbonatada cálcica). Acumulan un gran cantidad de agua (el acuífero de la Mancha Occidental entre 12.500 y 17.500 hm^3, Martínez Santos, 2007), sus niveles freáticos están muy próximos a la superficie, y tienen una alta transmisividad. Estas tres características los convierten en una fuente fiable (frente a las sequías), práctica y barata. Estas razones han contribuido a que el 90% del agua usada en el Alto Guadiana tenga un origen subterráneo, y que menos de un 10% provenga de los ríos y embalses (CHG, 2008). Por estas razones, la gestión del agua en la cuenca alta del Guadiana se centra en la gestión de los acuíferos, y no sólo en el agua superficial.

La Confederación Hidrográfica del Guadiana distingue cinco Unidades Hidrogeológicas (según la nomenclatura anterior a la DMA) en la cuenca alta del río Guadiana (Tabla

2.1). De ellas, la más importante es la UH.04.04, o acuífero de la Mancha Occidental, por las siguientes razones:

- Razones hidrológicas:

- es la más extensa (Tabla 2.2)
- es la que contiene mayor volumen de agua (Tabla 2.2)
- es la que recibe el agua de toda la cuenca alta del Guadiana y de los demás acuíferos, y es a través de la cual la cuenca alta descarga el agua al resto de la cuenca del río Guadiana (Martínez Cortina, 2003)
- es la que presenta mayor transmisividad (la más fácil de extraer; Tabla 2.2)
- es la más estudiada y de la que existen más datos hidrogeológicos
- los descensos piezométricos han sido mayores en esta unidad hidrogeológica que en ninguna de las demás

- Razones sociales:

- es la que contiene mayor población (Tabla 2.2)
- es la que contiene mayor superficie de terrenos en regadío (Tabla 2.2)
- es la que contiene mayor número de pozos de explotación (Tabla 2.2)
- es donde más se han acentuado los conflictos entre los diferentes usos de agua

Tabla 2.2. Comparación de las características hidrológicas y sociales entre las unidades hidrogeológicas de la cuenca alta del Guadiana.

Nombre unidad hidrogeológica	Superficie		Volumen almacenado (Martínez Santos, 2007)	Transmisividad (m^2/día)	Población 2004-2005 (CHG, 2006 y 2008)		Superficie de regadíos Año 2005 (CHG, 2008)		Nº de pozos
	(ha)	%			pob	%	ha	%	
U.H.04.01: Sierra de Altomira	270.697	21%		60-5.000			4.530	3%	
U.H.04.02: Lillo - Quintanar	101.354	8%		300				0%	
U.H.04.03: Consuegra-Villacañas	120.220	10%		300				0%	
U.H.04.04: Mancha Occidental	512.651	41%	12.500-17.000	200-20.000	306.295	54%	131.754	96%	
U.H.04.06: Campo de Montiel	258.222	20%		10-7.000			1.410	1%	
Total (Alto Guadiana)	1.263.144	100%			569.535	100%	137.694	100%	

El acuífero de la Mancha Occidental fue declarado sobreexplotado provisionalmente en 1987, y de forma definitiva en 1988 (por la Junta de Gobierno de la CHG: CHG, 2006c[1]). Actualmente, ha sido reconocido como masas de agua en riesgo seguro de incumplir los objetivos de la Directiva Marco del Agua, y por tanto está siendo objeto de una caracterización adicional (CHG, 2006c).

[1] CHG, 2006c. Capítulo VII. Análisis de presiones e impactos en aguas subterráneas.

Por tanto, el acuífero de la Mancha Occidental puede utilizarse para representar tanto la gestión, como los conflictos y las soluciones que existen en el Alto Guadiana. El estudio de este acuífero en solitario tiene sentido porque así se puede estudiar e incidir más en sus características propias, sin que queden difuminadas por las realidades de los otros cuatro acuíferos de la cuenca alta del Guadiana.

Por último, hay otra razón que aconsejaba restringir el estudio al acuífero de la Mancha Occidental. Uno de los objetivos principales de la tesis doctoral era construir la red bayesiana de forma participativa. En un proceso de participación deben estar representados todos los interesados en el tema considerado, y contar con representantes de todo el Alto Guadiana habría requerido la participación de un número muy alto de personas. Los procesos de participación para construir redes bayesianas requieren de un número no muy grande de participantes (no más de 20 personas), por lo que se consideró apropiado involucrar a los implicados en sólo uno de los acuíferos.

Por las razones expuestas previamente, la presente tesis doctoral se restringió en sus límites geográficos a los del acuífero de la Mancha Occidental (Figura 2.3).

Figura 2.3. Mapa de la zona de estudio: acuífero de la Mancha Occidental, límites municipales, límites provinciales, ríos y humedales principales y comarcas agrarias. Fuente: Elaboración propia.

2.2. DESCRIPCIÓN BIOFÍSICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

A continuación se explican las condiciones climáticas del área de estudio, su geología y su funcionamiento hidrológico. Posteriormente se identifican los ecosistemas con mayor valor ambiental, así como su funcionamiento básico y los bienes y servicios que proporcionan a la sociedad.

2.2.1 Clima

Como se ha indicado anteriormente, el clima es de tipo mediterráneo continental, caracterizado por grandes oscilaciones térmicas, tanto diarias como anuales, pudiendo alcanzar -10 ºC en invierno y 40 ºC en verano; y por bajas precipitaciones también muy variables: la precipitación media es alrededor de 400 mm/año, pero unos años puede ser inferior a 250 mm/año, y otros puede llegar a superar los 600 mm/año (Página web de la Agencia Estatal de Meteorología).

La precipitación, como en casi toda España, se reparte de forma desigual, lloviendo más en primavera y otoño, menos en invierno y casi nada en verano. Además muchas veces las precipitaciones son torrenciales.

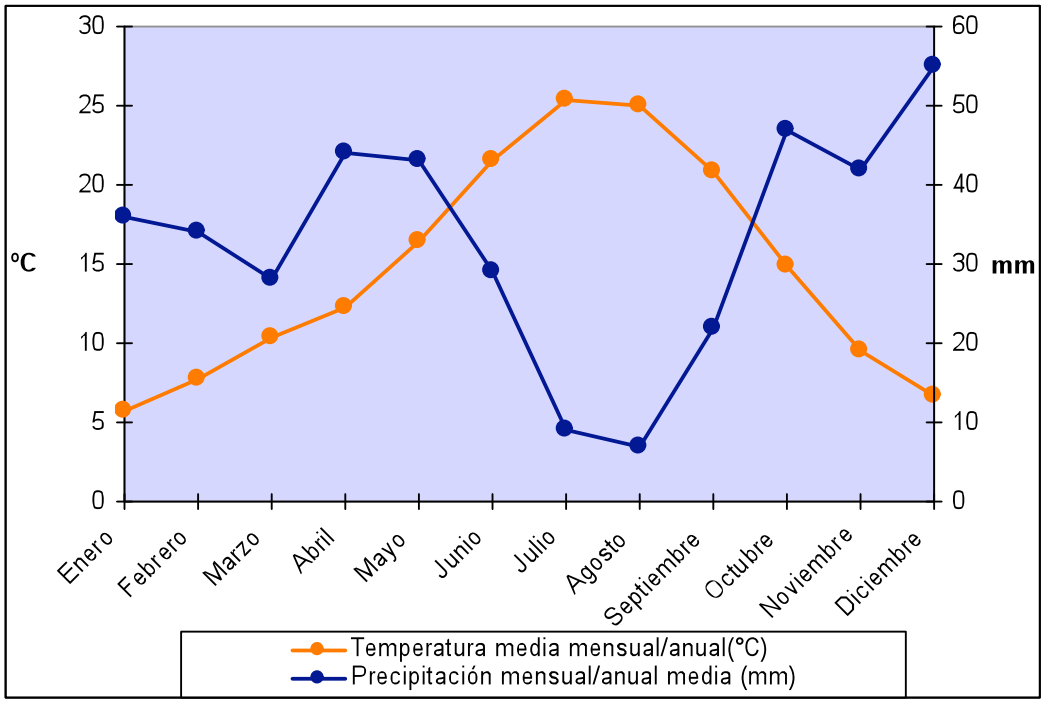


Figura 2.4. Climodiagrama de Walter-Lieth. Valores Climatológicos Normales. Ciudad Real. Periodo: 1971-2000. Altitud: 627 m. Latitud: 38º 59' 22" N. Longitud: 03º 55' 11" O. Fuente: Página web de la Agencia Estatal de Meteorología.

Tabla 2.3. Valores Climatológicos Normales. Ciudad Real. Periodo: 1971-2000. Altitud: 627 m. Latitud: 38º 59' 22" N. Longitud: 03º 55' 11" O.
Fuente: Página web de la Agencia Estatal de Meteorología.

Mes	Temperatura media mensual/anual(°C)	Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias(°C)	Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)	Precipitación mensual/anual media (mm)	Humedad relativa media (%)	Nº medio mensual/anual de horas de sol
Enero	5.7	10.8	0.6	36	79	132
Febrero	7.7	13.5	1.9	34	72	157
Marzo	10.4	17.1	3.7	28	62	212
Abril	12.3	18.8	5.8	44	61	222
Mayo	16.4	23.3	9.6	43	58	266
Junio	21.6	29.1	14.1	29	50	304
Julio	25.4	33.7	17.0	9	45	346
Agosto	25.0	33.2	16.8	7	46	324
Septiembre	20.8	28.2	13.5	22	55	246
Octubre	14.9	21.0	8.8	47	68	192
Noviembre	9.5	14.9	4.2	42	77	140
Diciembre	6.7	11.3	2.1	55	82	116
Año	14.7	21.2	8.2	396	63	2.657

2.2.2 Geología

El acuífero de la Mancha Occidental está formado por la depresión de un zócalo paleozoico y mesozoico que se ha rellenado con materiales terciarios y cuaternarios (Figuras 2.5 y 2.6). A pesar de los numerosos estudios hidrogeológicos, la geometría del acuífero era poco conocida hasta principios de 2000, cuando Esnaola la estudió en detalle para la realización de su tesis doctoral (Esnaola, en prensa).

Figura 2.5. Corte de la roca caliza en la que se puede observar el desgaste y los huecos que forma el agua al discurrir por ella (19/10/2007).

Figura 2.6. Afloramiento de la roca caliza en la que se puede observar, en la parte central de la fotografía, un gran hueco formado por el agua al discurrir por ella (19/10/2007).

Según dicho estudio, hay un acuífero superior libre de calcarenitas arenas y arcillas terciarias, debajo del que hay un acuitardo (formaciones geológicas semipermeables que, conteniendo agua en gran cantidad, la trasmiten muy lentamente) de margas y calizas margosas del Cretácico. A continuación, existe un acuífero semi-confinado de naturaleza calizo-dolomítica, del Jurásico. Este acuífero termina cuando se encuentra con una base impermeable de materiales triásicos, que se apoya sobre otras rocas paleozoicas, también impermeables a efectos prácticos (Martínez-Santos *et al.*, 2008-a). En resumen, está formado por dos unidades permeables principales aisladas entre sí por una capa impermeable (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Resumen de los principales tramos acuíferos de la U.H. 04.04, así como sus correspondientes características hidrogeológicas (Martínez Cortina, 2003).

Tramo	Edad geológica	Materiales	Espesor (m)	Transmisividad (m^2/día)	Coeficiente de almacenamiento
ACUÍFERO SUPERIOR	Plioceno-Cuaternario	Detríticos	–	< 500	0,01 – 0,1
	Mioceno Superior	Calizas y margas	Hasta 200	Hasta 20.000	0,015 – 0,05
ACUITARDO INTERMEDIO (Cretácico)					
ACUÍFERO INFERIOR	Cretácico Superior	Calizas	25	200 – 5.000	10^{-3} – 10^{-4}
	Jurásico Medio	Calizas oolíticas	60	6.000	
	Jurásico Inferior	Calcáreo-dolomíticos	80	500 – 5.000	

Estas tres capas no son totalmente horizontales, están un poco inclinadas, siendo más finas en el Suroeste, y ganando altura hacia del noreste. Además, como puede verse en la figura 2.7, el acuífero superior es más profundo en la parte central y se hace más delgado en los extremos. El zócalo impermeable paleozoico es el que cierra el acuífero en el extremo suroeste. En el norte, las capas del acuitardo llegan a aflorar a la altura de Villarrobledo, y el acuífero inferior está mucho más cerca de la superficie.

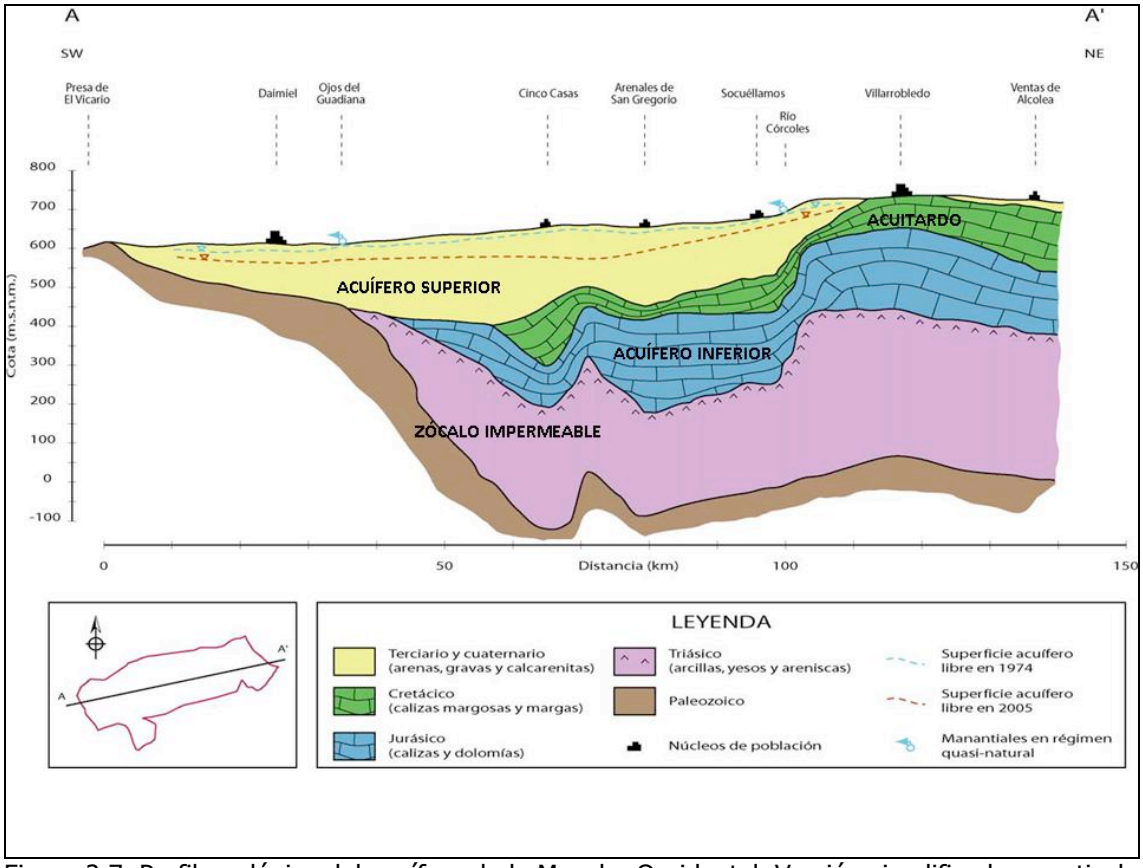


Figura 2.7. Perfil geológico del acuífero de la Mancha Occidental. Versión simplificada a partir de los datos de Esnaola (en prensa) (Martínez-Santos *et al.*, 2008-b).

2.2.3 Funcionamiento hidrogeológico del acuífero

El funcionamiento hidrológico del área de estudio está caracterizado por la gran interrelación entre las aguas superficiales y las subterráneas. En una situación poco alterada, esta interrelación determinaba la existencia de numerosas zonas húmedas en esta zona. Sin embargo, el funcionamiento del acuífero actualmente es distinto al que tenía antes de 1970. Por eso, primero se explica su funcionamiento natural, y posteriormente se explica su funcionamiento actual. Aunque aún quedan muchas incertidumbres en cuanto a las propiedades físicas de los acuíferos, Cruces y Martínez Cortina (2000) describieron los rasgos principales del funcionamiento hidrogeológico del acuífero de la Mancha Occidental. A continuación se incluye un breve resumen de dicha descripción (Cruces y Martínez Cortina, 2000).

- Régimen natural del acuífero de la Mancha Occidental, tal y como se considera que funcionó hasta principios de la década de 1970.

El acuífero de la Mancha Occidental se puede describir como un gran embalse subterráneo, cerrado por rocas impermeables en su extremo sudoeste. Dichos materiales impermeables hacen que el agua que circula por el acuífero busque lugares por los que escapar. Como la altitud del terreno de es de 800 metros en su extremo este (Villarobledo), y disminuye gradualmente hasta los 600 en su extremo oeste (Daimiel), es por esta zona por la que el agua salía del acuífero, "en forma de manantiales kársticos, lagunas y humedales (Figura 2.7). Estos puntos son los lugares

topográficamente más bajos, que es precisamente donde la superficie freática cortaba a la topográfica".

"**Las entradas** de agua al acuífero proceden de la recarga directa de la lluvia; de los flujos laterales de los otros acuíferos del Alto Guadiana, que, en general, tenían niveles piezométricos más altos; y de la infiltración producida desde la red de aguas superficiales, cuando los cauces estaban por encima del nivel piezométrico. Las cifras correspondientes a todos estos términos son muy difíciles de medir o estimar, y son susceptibles de grandes errores, como se puede observar en los diferentes valores estimados a lo largo de los años, incluso por un mismo organismo".

"**Las salidas** de agua en una situación natural se producían por drenaje del acuífero en las zonas de descarga (manantiales, lagunas y humedales), y por evapotranspiración desde las zonas húmedas y las riberas de los ríos. Su estimación presenta las mismas dificultades que en el caso de las entradas. En concreto, las pérdidas producidas por evapotranspiración son difíciles de calcular debido a la gran variabilidad de zonas encharcadas a lo largo del año y a la ausencia de medidas directas de evapotranspiración".

"En general, el nivel piezométrico tenía una cierta profundidad en la mayor parte de la superficie, lo que contribuía a dar el aspecto seco característico a los campos de La Mancha, dedicados tradicionalmente a cultivos de secano". Las excepciones se producían en los lugares topográficamente más bajos, donde los niveles eran inferiores al nivel piezométrico del acuífero. En estos puntos, las aguas superficiales, las aguas subterráneas, o la coincidencia de ambas, permitían el mantenimiento permanente o estacional de zonas encharcadas. "Las principales descargas del acuífero se producían de forma concentrada en lugares como los Ojos del Guadiana o las Tablas de Daimiel, y también distribuidas a lo largo de los cauces de los ríos".

El relieve llano del acuífero permitía una autorregulación natural del sistema a través de la conexión del acuífero con los ríos y las zonas húmedas. Durante las secuencias húmedas, los ligeros ascensos de los niveles piezométricos del acuífero producían un incremento del caudal aportado a los ríos y a las zonas de descarga. Esto aumentaba las áreas inundadas, lo que producía una mayor evapotranspiración. Esto equilibraba las entradas con las salidas, contribuyendo a mantener los niveles en el acuífero próximos a unos valores medios. Por ejemplo, "la extensión encharcada de las Tablas de Daimiel variaba habitualmente entre 1.000 y 2.000 hectáreas".

"Esta compensación se producía también durante las secuencias meteorológicas secas, pero de forma inversa. Por una parte, los descensos de los niveles del acuífero suponían una reducción de las aportaciones subterráneas a los ríos y a las zonas de descarga, pudiendo en algunos casos llegarse a la desconexión del acuífero, que pasaría a recibir la infiltración desde las masas de agua superficiales. Por otro lado, la disminución de las zonas inundadas permitía al acuífero reducir sus salidas por evapotranspiración. Esta reducción de pérdidas hacía posible un cierto mantenimiento de los niveles del acuífero, y por consiguiente, de sus aportaciones subterráneas a la mayoría de zonas húmedas y de descarga".

La gran cantidad de agua que almacenaba el acuífero permitía seguir aportando agua a las corrientes superficiales incluso en épocas de sequía.

- Régimen hidrológico del acuífero actual (alterado)

El funcionamiento descrito se ha visto alterado por la extracción de agua del acuífero a una velocidad mayor que la tasa de recarga del acuífero. Las causas y evolución de las extracciones se explican en el apartado 2.4, pero las consecuencias para el funcionamiento del acuífero se explican a continuación.

Las extracciones aumentaron significativamente a mediados de la década de 1970, lo que provocó un descenso del nivel piezométrico del acuífero. Sin embargo no fue hasta los primeros años de la década de 1980, cuando el nivel bajó tanto como para afectar de forma importante al funcionamiento hidrológico. Dicho descenso del nivel piezométrico hizo que el acuífero quedara descolgado de las corrientes superficiales, es decir, que dejara de estar en contacto directo con los ríos y humedales. Estos ríos y zonas húmedas, que antes recibían la descarga del acuífero y se inundaban gracias al agua que provenía del acuífero, pasaron a ser áreas de recarga, en las que el agua se infiltra al acuífero. Después de una serie de años seguidos sin recibir el agua que antes entraba del acuífero, muchos humedales se han secado, como las Tablas de Daimiel o los Ojos del Guadiana, y los ríos tienen ahora un caudal mucho más pequeño, cuando lo tienen (Cruces *et al*., 1997).

Las extracciones cambiaron también el flujo del agua a través del acuífero, que antes se dirigía desde el noreste hacia el límite suroeste, que era por donde descargaba. Se formaron conos de bombeo en la parte central del acuífero tan grandes, que el nivel del acuífero en esa parte descendió hasta ser más bajo que en el límite suroccidental. De esta forma, ahora el flujo se dirige desde los bordes del acuífero hacia la zona central (Martínez Cortina 2003).

Esta nueva situación ha disminuido las salidas naturales de agua del acuífero y ha aumentado la recarga. Al secarse los ríos y humedales, la evapotranspiración ha descendido hasta ser casi nula, y al mismo tiempo el agua de lluvia que reciben los ríos y que antes salía del sistema por el río Guadiana, ahora se infiltra y recarga el acuífero. El resultado es que, paradójicamente, los recursos renovables del acuífero se han incrementado considerablemente: ya apenas existen salidas por evapotranspiración (no hay humedales) ni por ríos (también se han secado), y la recarga es mayor: prácticamente todo el agua de lluvia se infiltra, y antes una parte salía por los ríos o se evaporaba. Es importante tener en cuenta este incremento para la planificación y gestión hidrológica, y saber que, si el acuífero volviese a su nivel antiguo, los recursos renovables volverían a reducirse.

2.2.4 Ecosistemas del área de estudio

La región carece de grandes espacios silvestres como bosques o prados, y la mayor parte de la superficie del acuífero la ocupan ecosistemas agrarios. Los ecosistemas más importantes en la región son los ríos y los humedales, que eran puntos de concentración de biodiversidad, con una importancia especial de las aves (Serna y Gaviria, 1995; García, 1996; Martínez Cortina, 2001). También hay pequeños restos de la vegetación natural potencial de esta región, entre los que se puede destacar a las

encinas y pequeñas formaciones de arbustos, la mayoría de ellas de pequeña extensión y aisladas entre los campos cultivados.

- Los ecosistemas agrarios de la región son los siguientes:

  - Huertos en los alrededores o interiores de los núcleos urbanos, cuya extensión es muy pequeña hoy en día;

  - Zonas esteparias en las que se cultivan cereales en secano;

  - Cultivos leñosos en secano, principalmente viña aunque también olivar;

  - Pastos para las ovejas; y las vías pecuarias utilizadas por el ganado.

  - También hay cultivos herbáceos y leñosos en regadío, aunque la mayoría reciben muchos herbicidas y pesticidas que reducen la diversidad biológica y pueden llegar a contaminar el acuífero.

- Los humedales:

Los humedales son los ecosistemas más valiosos de la región, por la diversidad biológica que mantenían, por su importancia en el funcionamiento ecológico de toda la región y por su importancia ecológica a escala global. Estos ecosistemas surgen como resultado de las interacciones entre el acuífero y las aguas superficiales. Dichas relaciones han provocado la existencia de una amplia tipología de humedales y ecosistemas acuáticos de gran valor ecológico, que han recibido diferentes reconocimientos y figuras de protección. Hace cuatro décadas los humedales de toda la cuenca alta del Guadiana inundaban 25.000 ha, de las que hoy sólo existen unas 7.000 ha (de la Hera, 1998). La crítica situación de degradación de muchos de los humedales se debe principalmente, aunque no exclusivamente, a la extracción intensiva de aguas subterráneas efectuadas desde la década de 1970.

Su valor ecológico radica en que son zonas húmedas en una región muy árida, con un comportamiento hidrológico y unas características hidro-químicas especiales, tanto en España, como a nivel mundial. Estas características son un rango amplio de diferentes salinidades, que se dan en diferentes lagunas, y en algunas, por ejemplo en las Tablas de Daimiel, se producía una mezcla de aguas con distintas salinidades, una más salada (de tipo sulfatado cálcicas) proveniente del río Gigüela y otras menos saladas provenientes de los Ojos del Guadiana y del propio acuífero (de tipo bicarbonatado cálcicas) (Llamas, 1989). Estas características daban lugar a una gran diversidad biológica: desde especies vegetales raras en la región, por sus requerimientos hidrológicos y salinos, hasta especies de aves en peligro de extinción (Figura 2.8). A escala regional tenían un importante papel como regulador climático y como corredores ecológicos. A escala mundial tienen importancia porque eran lugar de parada de muchas aves migratorias, que encontraban aquí un lugar propicio para descansar durante sus migraciones.

Figura 2.8. Fotografía en la que se puede observar la parte del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel que se mantiene inundada de forma artificial (19/10/2007).

2.2.5 Humedales del acuífero de la Mancha Occidental: funcionamiento, evolución y estado de conservación

A continuación se expone una breve descripción de los humedales que hay en acuífero de la Mancha Occidental, basada en el análisis de la tesis doctoral de África de la Hera (1998). Dicho trabajo se basa en una clasificación genético-funcional de los humedales, es decir, basada en su génesis, en el origen y la forma de alimentación preferente, atendiendo a los criterios de análisis funcional. Dicha clasificación se realizó a escala de la cuenca alta del Guadiana, y está basada en criterios geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos.

En base a su funcionamiento hídrico se pueden distinguir dos tipos principales de humedales:

- Humedales ribereños: Se inundaban en los procesos de avenidas y desbordamiento de los ríos al tratarse de llanuras de inundación muy llanas. No obstante, la inundación se veía favorecida por las descargas de agua subterránea difusas, que impedían la infiltración de las aguas superficiales.

- Humedales endorreicos: la duración de la inundación variaba de permanente a semipermanente y temporal. Las permanentes o semipermanentes recibían aportes subterráneos.

De la Hera (1998) identificó dos enclaves de humedales con características distintas dentro del acuífero de la Mancha Occidental.

a) Enclave de Daimiel

Era el rebosadero natural del sistema de acuíferos de la cuenca alta del Guadiana y estaba formado por 13 humedales: 6 lagunas (la única de ellas que se conserva actualmente es la laguna del Cerro Mesado; las otras cinco (del Escoplillo, de Navaseca, de la Albuera, del Romaní y de la Nava) han desaparecido y están transformadas en zonas de cultivo); 2 tablas, las Tablas de Cerro Mesado han desaparecido y las más importantes, las Tablas de Daimiel, están muy alteradas; 3 navas, la Nava Pequeña desaparecida y las otras dos alteradas (Nava Grande y Nava de Enmedio); Los Ojos del Guadiana, hoy desaparecidos; y los primeros kilómetros del río Guadiana, hoy también desaparecidos.

Muchos de los humedales de este enclave, como se ha indicado anteriormente, han desaparecido, y los que no lo han hecho, se encuentran seriamente afectados.

b) Enclave del río Záncara. Este enclave está formado por 31 humedales: 27 lagunas, dos charcas, un vado y un pantano. Casi la mitad de ellos han desaparecido y los demás están seriamente afectados. Estos humedales se encuentran en el contacto permeable entre la Unidad Hidrogeológica Sierra de Altomira y la Unidad Hidrogeológica de la Mancha Occidental, entre las que existe un flujo subterráneo de la primera hacia la segunda, estimado en 10 hm^3/año. Los humedales están situados muy cerca de la confluencia entre los ríos Záncara, Córcoles y Saona o Monreal. En general son de dimensiones reducidas y todos menos tres de ellos, tienen carácter endorreico. Su génesis está en general relacionada bien con fenómenos de desbordamiento e inundación fluvial o bien asociados a fenómenos kársticos en materiales permeables. El funcionamiento hídrico de estos humedales estaba marcado por la aportación mixta de agua superficial proveniente de los ríos, algunas veces por inundación durante las crecidas, y otras, por filtración a través del aluvial cuaternario; y por agua proveniente directamente del acuífero. Los ríos recibían también recarga del acuífero. Muchos de estos humedales se utilizaban como zonas de pastoreo, abrevadero y uso recreativo (caza y pesca).

- Problemas de conservación de los humedales del acuífero de la Mancha Occidental

A continuación se explican brevemente las principales acciones que han tenido impactos ambientales negativos en el territorio del acuífero de la Mancha Occidental.

- Como se ha comentado anteriormente, desde la década de 1960, hubo planes e incluso se iniciaron actuaciones para **desecar las zonas pantanosas** del acuífero. En los años sesenta del siglo XX se iniciaron las actuaciones más importantes hasta entonces (Esnaola, 1991). Por ejemplo, se rebajó el nivel del río Guadiana desde los Ojos hasta Las Tablas de Daimiel y se canalizaron Las Tablas de Daimiel, que llegaron a estar secas en 1971 (Serna y Gaviria, 1995). Estas actuaciones fueron paralizadas y en parte corregidas por las protestas de los grupos ecologistas (Llamas *et al.*, 1996).

- Otra actuación con consecuencias ambientales negativas ha sido la **construcción de presas**. En la cuenca alta del río Guadiana se han construido cinco presas que reducen el caudal de los ríos y su aportación a los humedales (Serna y Gaviria, 1995). Concretamente en el acuífero de la Mancha Occidental se construyeron el embalse de El Vicario, que cierra la cuenca, y la presa de Puente Navarro, construida para aumentar el encharcamiento del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel.

- El cambio más importante ha sido los **cambios de uso del suelo**, de explotaciones agrícolas de secano a explotaciones de regadío, que como poco ha afectado desde 1970 a 100.000 de las 512.000 ha del acuífero (un 20% de su superficie), ya que en 1970 ya existían 30.000 ha de regadío (Serna y Gaviria, 1995; Coleto *et al*., 2003; CHG, 2008).

- Dicho cambio de usos del suelo ha venido acompañado de un aumento también muy importante de las **extracciones de agua del acuífero**, que llegaron a ser mayores que la recarga del mismo. Entre 1960 y 1976 se estimaba que los bombeos eran del orden de 150 hm^3/año. Esta cifra pasó a ser del orden de 600-700 hm^3/año (entre 4 y 5 veces mayor) a finales de la década de 1980 (Llamas *et al*., 1996), y actualmente (2006-2008) se encuentra entre 300-400 hm^3/año (entre 2 y 3 veces superior) (CHG, 2008).

- Dichas extracciones provocaron, desde mediados de la década de 1970, importantes **descensos de los niveles piezométricos** del acuífero (de 0,5-2 m/año: Martínez Cortina, 2003). Desde principios de 1980, este descenso fue tal que provocó el descolgamiento del acuífero, es decir, se perdió el contacto directo entre las aguas superficiales y las subterráneas. El acuífero dejó de desbordarse y de aportar agua a los ríos y los humedales.

- Como consecuencia, el principal problema de conservación de los humedales es que se ha **alterado su funcionamiento hidrológico y ecológico** anterior, por la alteración de los flujos que participaban en sus procesos de alimentación (Llamas *et al*., 1996).

- Esto ha provocado la **desecación casi total de los ríos y humedales**, que han pasado a tener un comportamiento perdedor (Figura 2.9). Por lo tanto, las fuentes principales de agua de los humedales ya no existen. Por eso la superficie de humedales del acuífero de la Mancha Occidental ha pasado de ser cercana a las 7.000 ha, a ser actualmente menos de la mitad (2.500) ha, estando la mayor parte de las actuales muy degradadas (de la Hera, 1998). En algunas ocasiones, como en la Laguna del Pueblo o de la Vega, las aguas residuales se han convertido prácticamente en su único aporte (de la Hera, 1998), aunque desde 1999 se viertan después de pasar por una depuradora.

Figura 2.9. Fotografía en la que se puede observar el río Guadiana alto, seco (19/10/2007).

- **Las Tablas de Daimiel quedaron prácticamente secas** en 1985 (García, 1996) (Figura 2.10). La superficie de encharcamiento ha quedado reducida a menos de 50 ha, es decir, al 3% de la máxima zona de encharcamiento normal (1.600 ha). La ausencia de aportaciones directas del acuífero, ha hecho que la única entrada de agua provenga del río Cigüela, con lo que **ha aumentado y se ha homogeneizado la salinidad del agua y del suelo de las tablas, ha aumentado su contaminación y eutrofización, y ha cambiado la vegetación**. Como consecuencia de todo ello, **se ha reducido el número y las especies de aves** nidificantes (García, 1996).

Figura 2.10. Fotografía en la que se puede observar que el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel se encuentra seco (19/10/2007).

- En 1988 se aprobó el Plan de Regeneración Hídrica del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, que consistía principalmente en un **trasvase de agua hasta el Parque**, desde el Trasvase Tajo-Segura. El Parque Nacional recibió agua del trasvase desde 1988 hasta 1992, cuando volvieron a tener agua en primavera, porque además de las aportaciones del trasvase, recibieron la aportación de agua superficial proveniente del río Gigüela. Los años siguientes a 1992 la superficie inundada es mínima (entre 200 ha y 20 ha), y eso gracias a que recibe agua bombeada del propio acuífero. Sólo en años especialmente húmedos las inundaciones en primavera son mayores, aunque el agua se infiltra rápidamente al acuífero (García, 1996).

- El trasvase de agua desde el Trasvase Tajo-Guadiana ha tenido dos consecuencias negativas en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, que apenas se ha beneficiado del agua que llegaba: ha motivado **la desaparición de determinadas comunidades vegetales** por la diferente composición química del agua, y ha favorecido el **paso de especies endémicas del Tajo al Guadiana** (ADENA, 1996).

- Una de las actuaciones del Plan de Regeneración Hídrica de las Tablas de Daimiel consistió en la **canalización del río Gigüela**. La canalización ha provocado un drenaje del acuífero aluvial cuaternario, que ha provocado un descenso de los niveles de agua en el río. Este descenso ha alterado la relación río-humedales ribereños, afectando a la dinámica de inundación de estos

últimos, que se encuentran actualmente muy degradados o completamente secos (Cruces *et al.*, 1997).

- La alteración del funcionamiento ecológico de los humedales también ha provocado otros fenómenos, como la **combustión de las turberas** que había entre los Ojos del Guadiana y las Tablas de Daimiel, y que se habían generado a lo largo de milenios (Llamas y García, 1992). A su vez, la combustión de turberas ha provocado el **colapso de la superficie del terreno, una subsidencia generalizada del terreno y la emisión de gases tóxicos (2.11)**.

Figura 2.11. Fotografía en la que se observan subsidencias del terreno en el cauce del río Guadiana (21/3/2009).

- **Contaminación del agua subterránea**. Proviene de los núcleos urbanos que no tienen depuradoras, y de los fertilizantes y pesticidas aplicados en los cultivos (CHG, 2008). Es uno de los problemas más importantes y de más lenta solución. Probablemente la contaminación del agua del acuífero es una de las razones del trasvase de agua desde el aquiducto Tajo-Segura con fines de abastecimiento urbano.

Por lo tanto, de este breve repaso a los humedales y a los cambios que han sufrido, se puede concluir que los humedales de la Mancha Occidental están afectados por tres tipos principales de afecciones: a) alteraciones físicas del terreno, como canalizaciones o drenajes; b) la sobreexplotación del acuífero, que ha provocado el descenso de los niveles freáticos, y la detracción de los aportes superficiales a los humedales; y c) la contaminación del agua del acuífero.

En este trabajo se ha considerado que la recuperación del funcionamiento ecológico de los humedales de la Mancha Occidental sólo será posible si el nivel del acuífero vuelve a los niveles anteriores a 1984, año en el que se secaron los Ojos del Guadiana. Por supuesto, la recuperación del funcionamiento ecológico de esos humedales también requeriría la restauración de los cauces de los ríos afectados por las canalizaciones y drenajes. Sin la concurrencia de estas dos condiciones la recuperación de los humedales no será posible. Sin embargo, la recuperación de los niveles piezométricos requiere más tiempo, y por tanto más urgencia, y a la vez se concibe como más problemática.

- Estado de conservación de los humedales del acuífero de la Mancha Occidental

De los 44 humedales que existían, han desaparecido la mitad, y los restantes se encuentran en un estado de conservación muy alterado (Tabla 2.5). Por ejemplo el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, que solía contar con 2.000 ha inundadas, durante los últimos años mantiene inundadas menos de 200 ha. Sólo los años muy lluviosos se encharca mayor superficie, por efecto directo del agua de lluvia, y vuelve a secarse a los pocos meses.

Tabla 2.5. Resumen del estado de conservación y protección ambiental de los humedales de la Mancha Occidental (De la Hera, 1998).

Enclave	Nº Humedales		Nº Humedales protegidos	Tipo	Figuras de protección	Estado de conservación
	Antiguos	Actuales				
Daimiel	13	4	1 (Tablas de Daimiel)	Ribereño	1. Parque Nacional 2. Reserva Integral 3. Humedal Ramsar 4. Zona ZEPA y LIC	Alterado
Záncara	31	18	7	Endorreicos	1. Reserva Natural: 7 2. Refugio de Fauna:3 3. Humedal Ramsar:3 4. Zona ZEPA o LIC:7	Alterados

En la tabla 2.6 se recogen las consecuencias negativas tanto ambientales como socioeconómicas del uso intensivo del agua subterránea (Figura 2.12).

Tabla 2.6. Consecuencias o externalidades negativas del uso intensivo del agua del acuífero de la Mancha Occidental. A partir de Lopez Gunn *et al.*, en prensa.

Tipo de externalidad	Externalidad	Ejemplo
Ambiental	Ecosistemas afectados	Secado o deterioro de los humedales dependientes de agua subterránea Reducción del flujo de agua de ríos
Socio-económica	Costes de extracción	Aumento de los costes de bombeo de agua
	Pérdida de tierras fértiles	Debido a la mayor salinidad del agua que hay a mayores profundidades
	Calidad de agua subterránea	La calidad del agua varía con la profundidad: más salina cuánto más profunda Contaminación del acuífero debido a los insumos de la agricultura intensiva
	Subsidencias del suelo	Destrucción de infraestructuras: carretera Daimiel-Villarrubia de los Ojos
	Compactación del acuífero	Posible compactación del acuífero que reduzca en el futuro su capacidad de almacenaje
	Desigualdades	Agricultores que no puedan costear los gastos de profundizar los pozos
De opción e inter-temporal	Capacidad de amortiguación	Reducción de la capacidad de hacer frente a sequías
	Intertemporales	Reducción de la disponibilidad de agua para otras actividades Reducción del agua disponible para las generaciones futuras

Figura 2.12. Fotografía en la que se observa el cauce del Guadiana, cerca de los Ojos del Guadiana, completamente seco (21/3/2009).

2.2.6 Figuras de protección ambiental en el acuífero de la Mancha Occidental

Los humedales son, sin duda, los ecosistemas que han recibido mayor atención de la sociedad, debido en parte a la gran variedad y cantidad de aves que se podían observar en ellos. Este reconocimiento social se ha materializado a través de las figuras de protección ambiental incluidas en la tabla 2.7 y en la Figura 2.13.

Tabla 2.7. Figuras de protección ambiental en el acuífero de la Mancha Occidental.
Fuente: Página web de la Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente de Castilla la Mancha (http://www.jccm.es/industria/index.htm), y Página web del Ministerio de Medio Ambiente (www.marm.es/).

Nombre del Humedal	Figuras de protección	ha	PORN
Tablas de Daimiel	1- Parque Nacional (Decreto 1874/73, de 28 de junio de 1973). 2- Humedal Ramsar* (Resolucion 13 de marzo 1993). 3- ZEPA (1988) y LIC (ES0000013).	1.928	PRUG en proceso de elaboración
Laguna de Manjavacas	1- Reserva Natural Complejo lagunar de Manjavacas (Orden 12 junio1996). 2- Refugio de Fauna (Decreto 120/1989). 3- Humedal Ramsar* (13 de marzo 1993). 4- ZEPA (Zepa nº B00091) y LIC Humedales de La Mancha.	742	Decreto 185/2001.
Laguna de Alcahozo	1- Reserva Natural Complejo lagunar de Manjavacas (12 junio1996). 2- Refugio de Fauna (Decreto 65/1988). 3- ZEPA (Zepa nº B00091) y LIC Humedales de La Mancha.		
Laguna deSán-chez Gómez	1- Reserva Natural Complejo lagunar de Manjavacas (12 junio1996). 2- LIC Humedales de La Mancha.		
Laguna de La Dehesilla			
Laguna de la Vega o del Pueblo	1- Reserva Natural Complejo lagunar de Pedro Muñoz. 2- Refugio de Fauna (Decreto 65/1988). 3- Humedal Ramsar* (13 de marzo 1993). 4- ZEPA (1989) y LIC Humedales de La Mancha.	1.290	Decreto 128/2002 de 10-09-2002.
Laguna de Navalafuente	1- Reserva Natural Complejo lagunar de Pedro Muñoz. 2- ZEPA (1989) y LIC Humedales de La Mancha. 3- Humedal Ramsar* (13 de marzo 1993).		
Laguna el Retamar			
Todas forman parte de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda (UNESCO 1981). LIC Humedales de la Mancha: 12.227 ha. Código: (ES4250010). * Humedal Ramsar: Incluido en el Convenio sobre Humedales de importancia Internacional como hábitat para las aves acuáticas, Ramsar.			

La reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda, con una extensión de 25.000 ha, integraba más de un centenar de humedales, comprendidos todos ellos dentro de la cuenca alta del Guadiana, así que también abarcaba los humedales que se encuentran fuera del acuífero de la Mancha Occidental, como las Lagunas de Ruidera. El humedal de mayor extensión en superficie es las Tablas de Daimiel, con 2.500 ha. De la superficie inicial total reconocida oficialmente (25.000 ha, página web de la UNESCO), actualmente quedan 7.000 ha (de la Hera, 1998).

En la reunión sobre reservas de la Biosfera, convocada por la UNESCO en 1995 en Sevilla, el Gobierno Español fue avisado de que si en los siguientes cuatro años no mejoraba la situación de los humedales, la Mancha Húmeda tendría que ser excluida de la lista de Reservas de la Biosfera (Llamas *et al.*, 1996). Precisamente 1995 y 1996 fueron años muy lluviosos y el nivel del acuífero subió de forma importante. Posteriormente los niveles seguieron descendiendo, casi a la misma velocidad que en los años anteriores. El 5 de septiembre de 2007, cuatro de las organizaciones

ecologistas más importantes a nivel nacional (Ecologistas en Acción, *Greenpeace*, SEO/*BirdLife* y *WWF*/Adena) solicitaron al Comité del Programa Hombre y Biosfera de la UNESCO la retirada de la calificación de "Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda" que poseen el conjunto de humedales de la cuenca alta del Guadiana. Esta solicitud se basaba en la falta de cumplimiento de los requisitos mínimos exigidos por los Estatutos del Programa MaB, y en la ausencia de unos objetivos de sostenibilidad para este territorio, a pesar de que la declaración de esta reserva se realizó en 1980. Esta noticia causó gran sorpresa, ya que son dichas organizaciones las que normalmente abogan por la protección de espacios naturales. El Consejo Científico de la UNESCO se planteó seriamente la descalificación, pero consideró que el PEAG, aprobado en enero de 2008, podría permitir mejorar la situación de los humedales. Por eso, el 14 de Junio de 2008 determinó finalmente exigir a la Junta de Castilla-La Mancha el cumplimiento de cinco objetivos a corto, medio y largo plazo en unos periodos improrrogables, a los cuales está condicionado el mantenimiento del título de Reserva de la Biosfera. Estos objetivos se evaluarán con carácter anual y el primero de los cinco, que consistente en delimitar, cartografiar y zonificar la Reserva y establecer un sistema de gestión, se deberá completar en el plazo máximo de un año. En 2011 y 2015 , el comité científico de la UNESCO evaluará las medidas tomadas y el éxito de las medidas del PEAG, y se volverá a debatir su descatalogación.

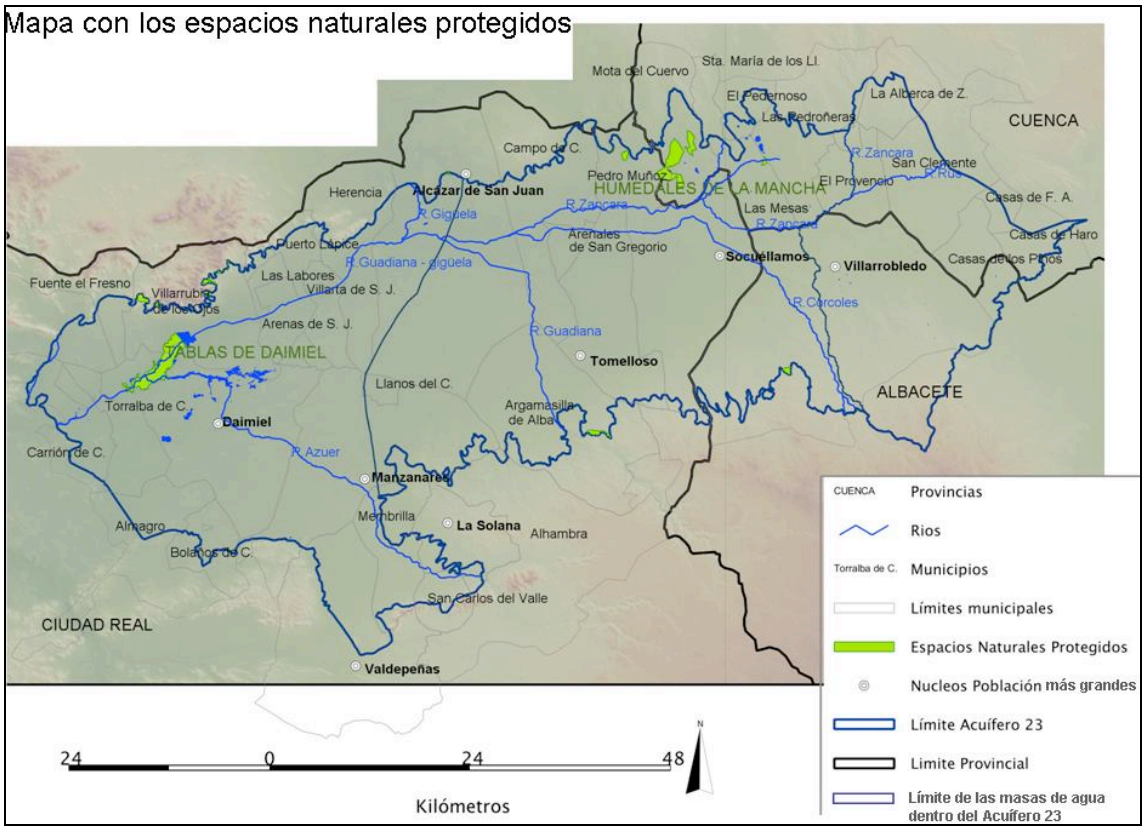


Figura 2.13. Mapa con los espacios naturales protegidos que hay en el acuífero de la Mancha Occidental. Fuente: Elaboración propia.

2.2.7 Servicios ecosistémicos proporcionados por los acuíferos y por los humedales

Los acuíferos y los humedales tienen una serie de funciones ecosistémicas, que proporcionan a la sociedad unos bienes y servicios que con frecuencia no se tienen en cuenta en su planificación y gestión. Por eso conviene resaltar su importancia. En las tablas 2.8 y 2.9 se identifican los principales servicios del acuífero de la Mancha Occidental y de sus humedales asociados, se relacionan con su valor económico, y se proporcionan ejemplos reales de ellos.

Tabla 2.8. Servicios del acuífero de la Mancha Occidental.
A partir de: López Gunn *et al.*, en prensa. Otras fuentes: MEA, 2005; Hein, Koppen, de Groot, *et al.*, 2006; Bergkamp and Cross, 2006; Martín-López *et al.*, 2009.

Valor económico total del agua subterránea		**Servicios ambientales**	**Definición**	**Ejemplo**
Valores de Opción y de Herencia	**Valor Directo**	**Servicios de suministro**	Abastecimiento de agua potable	La mayor parte de los municipios del acuífero se abastecen con agua potable
			Suministro de agua para la agricultura	El regadío consume entre el 85% y el 95% del agua subterránea utilizada. Hay entre 130.000 y 260.000 ha de regadíos El regadío ha sido y sigue siendo una fuente importante de ingresos en la región.
			Suministro de agua para uso industrial	La cantidad usada por la industria es pequeña comparado con la total, pero casi toda la industria de la región usa agua subterránea. Su uso va a aumentar por la instalación de plantas de generación de energía termo-solar.
		Servicios Culturales	Beneficios no materiales que se obtienen de los ecosistemas	Aparece en El Quijote: "Guadiana vuestro escudero, plañendo asimesmo vuestra desgracia, fue convertido en un río llamado de su mesmo nombre; el cual cuando llegó a la superficie de la tierra y vio el sol del otro cielo, fue tanto el pesar que sintió de ver que os dejaba, que se sumergió en las entrañas de la tierra; pero como no es posible dejar de acudir a su natural corriente, de cuando en cuando sale y se muestra donde el sol y las gentes le vean". Capítulo XXIV, parte II.
	Valor de Existencia			
		Servicios de soporte	Necesarios para la producción de todos los demás servicios de los ecosistemas	Sostiene a humedales y ríos. Interviene en el ciclo hidrológico y en los ciclos del nitrógeno, carbono y fósforo.
	Valor Indirecto	**Servicios de Regulación**	Regulación del ciclo hidrológico	Almacenaba agua en épocas de sequía y la liberaba en años húmedos. Almacenaba el agua y después la liberaba proporcionando un flujo de agua casi continuo a ríos, ojos y humedales
			Depuración de agua residual y del agua contaminada	Los contaminantes orgánicos, posibles microbios causantes de enfermedades, y contaminantes inorgánicos son degradados por las comunidades bacterianas del acuífero
			Control de la erosión y de las inundaciones	Al absorber parte de las precipitaciones, el acuífero reduce la escorrentía superficial, minimizando los efectos negativos de las lluvias torrenciales
			Regulación del clima	Amortigua la variabilidad climática, especialmente las sequías

Tabla 2.9. Servicios de los humedales relacionados directamente con la Mancha Occidental.
A partir de: López Gunn *et al.*, en prensa. Otras fuentes: MEA, 2005; Hein, Koppen, de Groot, *et al.*, 2006; Bergkamp and Cross, 2006; Martín-López *et al.*, 2009.

Valor económico total del agua subterránea		Servicios ambientales	Definición	Ejemplo
Valores de Opción y de Herencia	Valor Directo	Servicios de suministro	Abastecimiento de agua potable	Para la población cercana
			Suministro de agua para la agricultura y ganadería	Para pequeñas huertas. Los humedales se utilizaban como abrevadero para el ganado
			Suministro de energía para mover molinos de agua	Hace años a lo largo del río Guadiana había molinos de agua, que actualmente están abandonados o han desaparecido: 3 molinos en 15 km del río Guadiana: Molino de Molemocho, M. de Griñón, M. de Zuacorta.
			Pesca y caza	En las Tablas de Daimiel había familias que vivían de la pesca, y tanto la gente local como gente foránea acudía a cazar aves.
			Suministro de pasto	Muchas zonas húmedas se utilizaban para el pastoreo, con especial relevancia durante las épocas secas.
		Servicios Culturales	Recreativo	La población de Daimiel los utilizaba durante las fiestas y para refrescarse en verano.
			Turístico	Actualmente el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel recibe a un importante número de turistas
			Educativo	Para concienciar de los problemas ambientales
	Valor de Existencia		Científico	Útil para estudiar especies amenazadas, para estudiar el funcionamiento de los humedales, etc.
		Servicios de soporte	Necesarios para la producción de todos los demás servicios de los ecosistemas	Secuestro de carbono en las turberas Soporte para la vida de muchas especies vegetales y animales amenazadas, con especial importancia para las aves migratorias
	Valor Indirecto	Servicios de Regulación	Regulación del ciclo hidrológico	En épocas de sequía se secan y no evaporan agua del acuífero, en años húmedos contribuyen a la recarga del acuífero.
			Depuración de agua residual y del agua contaminada	Los contaminantes orgánicos, posibles microbios causantes de enfermedades, y contaminantes inorgánicos son degradados por las comunidades bacterianas y por las plantas de los humedales
			Control de la erosión y de las inundaciones	Amortiguan los efectos negativos de las lluvias torrenciales
			Regulación del clima	Amortigua la variabilidad climática, refrescando el aire cercano

2.3 SISTEMA SOCIO-ECONÓMICO

El número de habitantes del acuífero de la Mancha Occidental varía de unas fuentes a otras según los municipios que se consideren que forman parte del acuífero, ya que los límites del acuífero no coinciden con los límites municipales. Hay más de 40 municipios que tienen parte de su territorio en el acuífero, lo que totaliza unas 900.000 ha. Descartando los que tienen sólo una mínima parte de su territorio dentro del acuífero, en este trabajo se han seleccionado 40 municipios en los que viven 306.295 personas (CHG, 2006c; Tabla 2.10). La densidad de población es de aproximadamente 35 hab/km^2, superior a la media de la cuenca alta (26 hab/km^2), pero inferior a la media nacional (78%). Viladomiú y Rosell (2003) consideran que esta región puede caracterizarse como territorio rural dinámico: tiene baja densidad demográfica y no hay grandes concentraciones urbano-industriales, pero si hay núcleos de cierta entidad (4 municipios con más de 20.000 habitantes), y buenas comunicaciones, a lo que se

suma un crecimiento del empleo no agrario (Tabla 2.11 y Figuras 2.14-2.17) y un aumento y juventud de la población.

Tabla 2.10. Población, ingresos del sector agrícola y empleos en el sector agrícola de los municipios considerados dentro del acuífero de la Mancha Occidental. Habitantes en 2004 (CHG, 2006c), Valor Añadido Bruto en el año 2001 (CHG, 2006a), y Afiliaciones Seguridad Social en diciembre de 2007 (Página web del Instituto de Estadística de Castilla la Mancha, 2009).

	Población		**VAB Agrícola (€)**		**Empleos Agrícolas**	
MUNICIPIO	Nº	% regional	Nº	% regional	Nº	% regional
Villarrobledo	24.373	8%	18.174.100	5%	898	7%
Alcázar de San Juan	28.199	9%	10.586.433	3%	291	2%
Alhambra	1.190	0%	1.323.304	0%	116	1%
Almagro	8.492	3%	2.936.081	1%	100	1%
Arenas de San Juan	1.075	0%	2.067.663	1%	59	0%
Argamasilla de Alba	6.832	2%	12.736.802	4%	487	4%
Bolaños de Calatrava	11.831	4%	35.315.679	10%	834	6%
Campo de Criptana	13.258	4%	15.921.003	5%	391	3%
Carrión de Calatrava	2.660	1%	2.233.076	1%	61	0%
Daimiel	17.542	6%	12.116.503	4%	309	2%
Fernán Caballero	1.094	0%		-	39	0%
Fuente El Fresno	3.474	1%	3.804.499	1%	233	2%
Herencia	7.693	3%	10.379.667	3%	279	2%
Labores, Las	678	0%	1.240.598	0%	45	0%
Malagón	7.964	3%	10.958.612	3%	375	3%
Manzanares	18.344	6%	8.560.124	3%	301	2%
Membrilla	6.516	2%	19.022.497	6%	475	4%
Pedro Muñoz	7.637	2%	9.842.074	3%	220	2%
Puerto Lápice	485	0%	496.239	0%	31	0%
San Carlos del Valle	1.008	0%		-	110	1%
Socuéllamos	12.600	4%	24.977.365	7%	663	5%
La Solana	15.432	5%	32.751.777	10%	813	6%
Tomelloso	32.002	10%	52.808.105	15%	1.175	9%
Torralba de Calatrava	2.940	1%		-	84	1%
Valdepeñas	27.274	9%		-	530	4%
Villarrubia de los Ojos	9.968	3%	9.015.009	3%	313	2%
Villarta de San Juan	3.043	1%	10.007.487	3%	205	2%
Arenales de San Gregorio	686	0%		-	19	0%
Llanos del Caudillo	651	0%		-	28	0%
Alberca de Záncara	1.829	1%		-	462	4%
Casas de Fernando Alonso	1.333	0%	1.419.629	0%	186	1%
Casas de Haro	855	0%	1.281.801	0%	115	1%
Casas de los Pinos	530	0%	716.706	0%	37	0%
Mesas, Las	2.498	1%	2.425.774	1%	324	2%
Mota del Cuervo	5.912	2%	4.079.711	1%	412	3%
Pedernoso, El	1.296	0%	771.837	0%	89	1%
Pedroñeras, Las	6.951	2%	16.773.676	5%	1.141	9%
Provencio, El	2.641	1%	2.315.512	1%	205	2%
San Clemente	6.711	2%	3.624.878	1%	467	4%
Santa Maria de los Llanos	798	0%	1.336.932	0%	77	1%
TOTAL	306.295	100%	342.021.153	100%	12.999	100%

Tabla 2.11. Afiliaciones Seguridad Social por sectores económicos en los municipios considerados dentro del acuífero de la Mancha Occidental, en diciembre de 2007. (Página web del Instituto de Estadística de Castilla la Mancha, 2009).

		Agricultura		Industria		Construccion		Servicios		TOTAL
		Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
1	Villarrobledo	898	9	2.055	20	2.255	22	4.991	**49**	10.199
2	Alcázar de San Juan	291	3	1.773	18	1.823	18	6.165	**61**	10.052
3	Alhambra	116	**41**	21	7	67	24	78	28	282
4	Almagro	100	4	696	25	336	12	1.700	**60**	2.832
5	Arenas de San Juan	59	24	16	6	105	**42**	71	28	251
6	Argamasilla de Alba	487	21	256	11	657	29	890	**39**	2.290
7	Bolaños de Calatrava	834	22	922	24	588	15	1.475	**39**	3.819
8	Campo de Criptana	391	8	545	11	2.124	**43**	1.868	38	4.928
9	Carrión de Calatrava	61	9	26	4	212	31	395	**57**	694
10	Daimiel	309	6	948	17	1.949	35	2.417	**43**	5.623
11	Fernán Caballero	39	13	13	4	74	25	175	**58**	301
12	Fuente el Fresno	233	25	116	12	347	**37**	236	25	932
13	Herencia	279	10	752	27	629	23	1.095	**40**	2.755
14	Las Labores	45	23	89	**46**	23	12	35	18	192
15	Malagón	375	14	348	13	606	23	1.270	**49**	2.599
16	Manzanares	301	3.7	1.620	20	576	7	5.545	**69**	8.042
17	Membrilla	475	30	205	13	216	14	666	**43**	1.562
18	Pedro Muñoz	220	9	615	26	501	21	1.024	**43**	2.360
19	Puerto Lápice	31	9	69	20	45	13	200	**58**	345
20	San Carlos del Valle	110	**47**	26	11	35	15	61	26	232
21	Socuéllamos	663	14	625	13	1.398	30	1.975	**42**	4.661
22	La Solana	813	17	646	14	1.668	**35**	1.641	34	4.768
23	Tomelloso	1.175	8	2.234	16	4.154	30	6.508	**46**	14.071
24	Torralba de Calatrava	84	12	144	21	150	22	321	**46**	699
25	Valdepeñas	530	5	2.349	22	1.605	15	6.331	**59**	10.815
26	Villarrubia de los Ojos	313	10	389	12	1.507	**47**	997	31	3.206
27	Villarta de San Juan	205	24	203	24	143	17	296	**35**	847
28	Arenales de San Gregorio	19	15	4	3	18	14	86	**68**	127
29	Llanos del Caudillo	28	33	5	6	41	**49**	10	12	84
30	La Alberca de Záncara	462	**67**	54	8	52	8	121	18	689
31	Casas de Fernando Alonso	186	**48**	26	7	53	14	119	31	384
32	Casas de Haro	115	**48**	10	4	34	14	80	34	239
33	Casas de los Pinos	37	33	23	21	11	10	41	**37**	112
34	Las Mesas	324	**51**	41	7	97	15	173	27	635
35	Mota del Cuervo	412	18	426	19	512	22	941	**41**	2.291
36	El Pedernoso	89	32	36	13	59	21	98	**35**	282
37	Las Pedroñeras	1.141	**42**	358	13	312	12	886	33	2.697
38	El Provencio	205	24	160	18	176	20	333	**38**	874
39	San Clemente	467	19	429	17	446	18	1.170	**47**	2.512
40	Santa María de los Llanos	77	**48**	11	7	16	10	56	35	160
	total	12.999	12%	19.284	17%	25.620	23%	52.540	48%	110.443

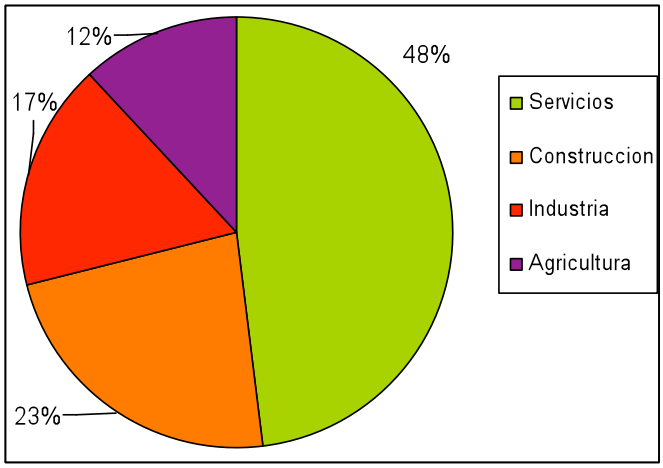


Figura 2.14. Afiliaciones Seguridad Social por sectores económicos en el acuífero de la Mancha Occidental, en diciembre de 2007.
(Página web del Instituto de Estadística de Castilla la Mancha, 2009).

Figura 2.15. Mapa de los municipios del acuífero de la Mancha Occidental. Fuente: Elaboración propia.

La agricultura supone aproximadamente el 12% de los empleos, un porcentaje ligeramente inferior al de la industria, la construcción y los servicios. Como en toda España, el empleo agrario ha descendido en las últimas décadas, aunque sigue siendo más importante que en la media nacional.

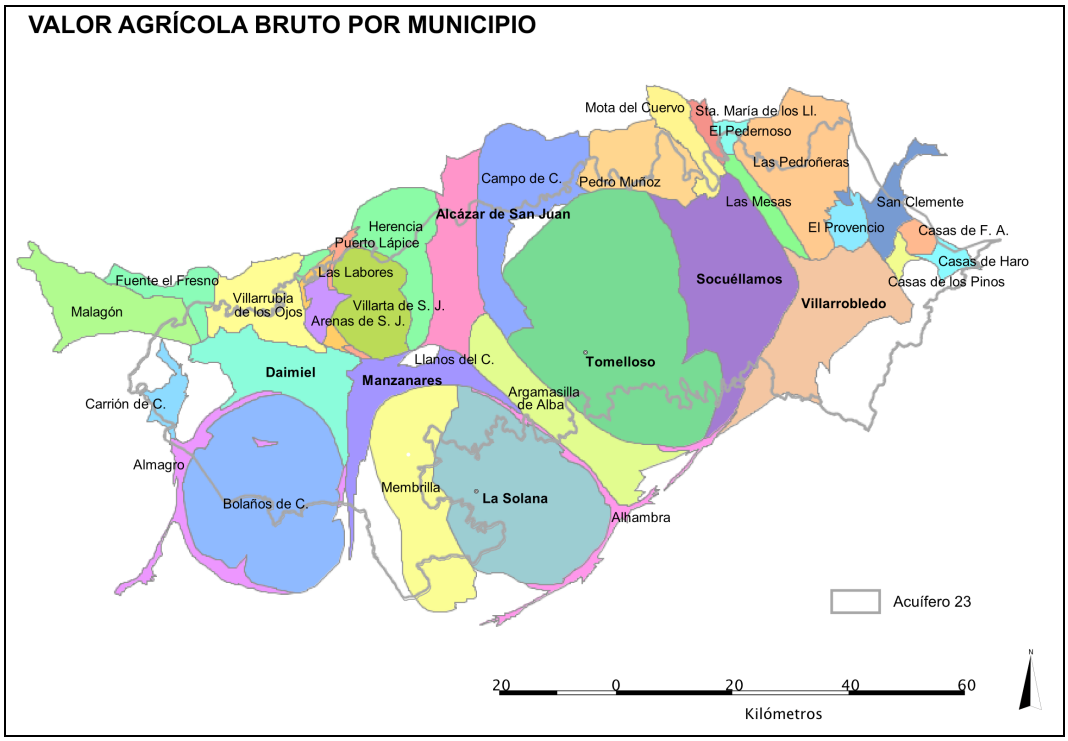


Figura 2.16. "Cartograma" (esquema estadístico y cartográfico de una superficie, que modela el tamaño de esa superficie en función del determinado valor estadístico que ella represente, siendo ese valor estadístico más importante de cuantificar que el valor de la superficie) en el que el tamaño de los municipios del acuífero de la Mancha Occidental ha sido modificado, representando el Valor Añadido Bruto a precios básicos (€) en la rama agraria en 2001, en cada uno de ellos. Estos datos pueden haber sufrido cambios por la reforma de la Política Agraria Comunitaria del año 2003. Fuente: Elaboración propia con datos de CHG (2006a).

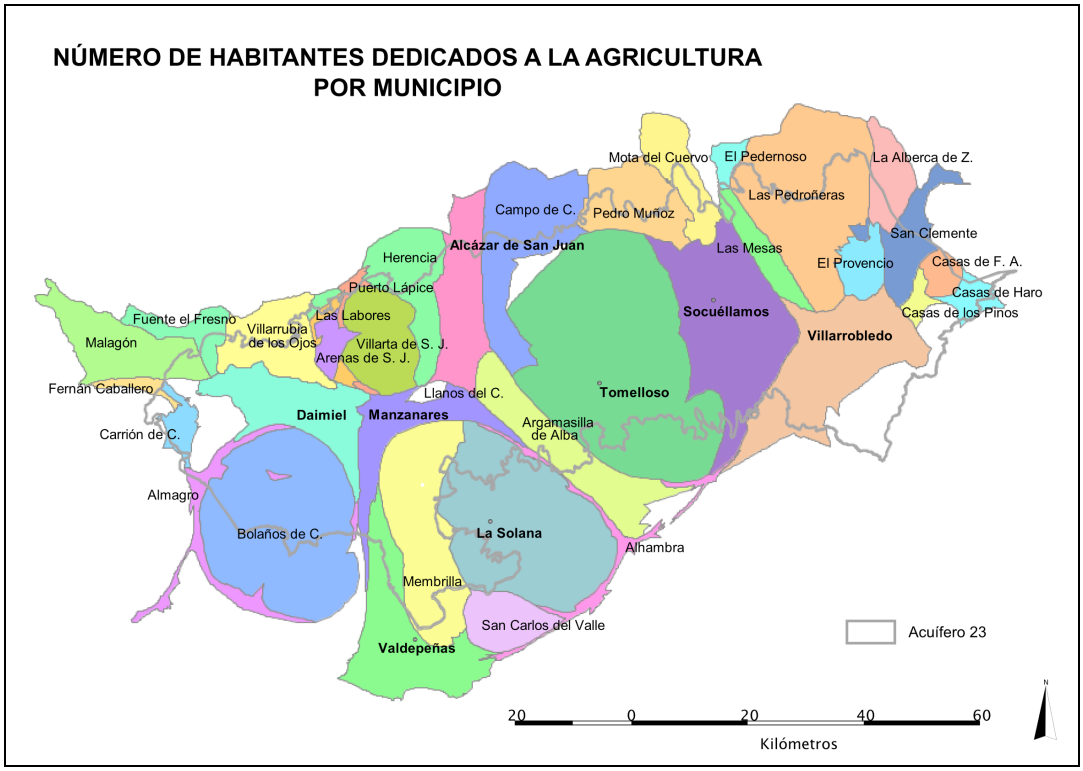


Figura 2.17. "Cartograma" (esquema estadístico y cartográfico de una superficie, que modela el tamaño de esa superficie en función del determinado valor estadístico que ella represente, siendo ese valor estadístico más importante de cuantificar que el valor de la superficie) en el

que el tamaño de los municipios del acuífero de la Mancha Occidental ha sido modificado, representando el número de trabajadores en la sub-rama agrícola en cada municipio, en el 2001. Estos datos pueden haber sufrido cambios por la reforma de la Política Agraria Comunitaria del año 2003. Fuente: Elaboración propia con datos de CHG (2006a).

2.4 DESCRIPCIÓN DEL USO DE RECURSOS HÍDRICOS EN EL ACUÍFERO DE LA MANCHA OCCIDENTAL DESDE 1970 HASTA LA ACTUALIDAD

Según datos de la CHG (2008) (Tabla 2.12), el 90% del agua que se usa en el Alto Guadiana se destina a cubrir las necesidades hídricas de los cultivos de regadío. Se considera que también en el acuífero de la Mancha Occidental la agricultura usa entorno al 90% del agua. Esto concuerda con trabajos anteriores (Martínez Cortina, 2003; Martínez Santos *et al.*, 2008-b).

Tabla 2.12. Usos del agua en el Alto Guadiana.
Fuente: CHG. 2008. PEAG. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 1. Definición del ámbito territorial. 1.5. Usos del agua.

Usos del agua en el Alto Guadiana	hm^3	%
Abastecimiento urbano	60	8%
Industria	10	1%
Necesidades hídricas para el riego	715	90%
Consumos del ganado	5	1%
TOTAL	790	100%

Además, en el mismo documento de la CHG (2008) se estima que el 95% del agua utilizada por la agricultura es agua subterránea, y menos de un 5% superficial (proveniente en su mayoría del embalse de Peñarroya).

Por tanto, el regadío es el uso principal del agua del acuífero de la Mancha Occidental. Esto ha sido así desde hace varias décadas (Llamas, 1989; Esnaola, 1991; Martínez Cortina, 2003; Martínez Santos *et al.*, 2008-b). Por esta razón, parece apropiado analizar especialmente este sector y su importancia en la extracción de recursos hídricos.

Los datos existentes sobre extracción de aguas subterráneas para regadíos presentan muchas incertidumbres. La principal de ellas se debe a la ausencia de tecnologías para proceder al cálculo directo del agua extraída de cada pozo: no hay un procedimiento directo para registrar dicha información. Además, sería una tarea difícil porque hay en torno a 45.000 pozos, y además, por lo menos un 15% de ellos están en una situación legal irregular (CHG, 2008: Anejo II. Informe de aprovechamientos sin aval). Por eso, las extracciones agrícolas habitualmente se estiman a partir del número de hectáreas regadas y del consumo medio de cada tipo de cultivo. Sin embargo, ambas magnitudes también son difíciles de estimar y hay múltiples estudios que proporcionan resultados muy diferentes: en el Capítulo 5, "La red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental", se presenta un análisis detallado tanto de la superficie en regadío existente en la actualidad, como de las necesidades de riego de cada cultivo, y de las extracciones agrícolas totales, porque estos elementos han sido incluidos como variables en la red bayesiana.

2.4.1 Usos del agua hasta 1970

Los cultivos que tradicionalmente han ocupado más extensión son los cereales y la viña, ambos en secano, y el pastoreo de ganado ovino (López Sanz, 1998). Además, también había formas tradicionales de aprovechar el agua del acuífero, principalmente mediante norias situadas en pequeñas huertas cerca de los núcleos de población, y también en los acuíferos aluviales de los ríos. Se hacía mediante pozos excavados y norias, en lugares con el nivel freático a poca profundidad (Martínez Santos *et al.*, 2008-a). Según describe Martínez Cortina (2003), hay constancia de que ya desde el siglo XVIII existía la intención de hacer un mayor aprovechamiento de las aguas del acuífero, para mejorar las condiciones de vida de la zona, aunque no se realizó ninguna actuación al respecto. Durante la segunda mitad del siglo XIX se consiguieron hacer grandes norias de hasta 25 m de profundidad, y en 1890 existían unas 10.000 norias (Costa, 1890, en Martínez Cortina, 2003). La superficie regada fue aumentando, principalmente en la zona oeste del acuífero, que es la zona de descarga y donde el nivel piezométrico se encontraba más cerca de la superficie. En 1918 había unas 25.000 ha de regadío en la cuenca alta del Guadiana, principalmente en la Mancha Occidental.

Posteriormente, en la década de 1960 se construyó el Embalse de Peñarroya, en la colindante comarca de Campo de Montiel, y desde entonces se riega con aguas superficiales unas 5.000-7.000 ha.

Hasta entonces se estima que el sistema hídrico de la Mancha Occidental (y de todo el Alto Guadiana) se mantenía en su régimen natural, ya que el acuífero se mantenía relleno de agua, sus aguas alimentaban a los humedales, y los humedales dependientes del acuífero mostraban un excelente estado de conservación.

2.4.2 La revolución silenciosa de las aguas subterráneas

A partir de los primeros años de 1970 es cuando comenzó a darse el gran salto tanto en la superficie regada como en el volumen de agua usada en la agricultura, que ha hecho que los niveles del acuífero desciendan notablemente. A partir de entonces el agua comenzó a usarse de forma intensiva, extrayendo más agua que la que entraba al acuífero por la recarga natural.

Hay varios factores importantes que intervinieron en los cambios (Martínez Cortina, 2003):

- Técnicos: mejora de las técnicas de perforación de pozos, con la aparición de la bomba de turbina (que permite extraer fácilmente agua a grandes profundidades, y con caudales de hasta centenares de l/s), cambios en los sistemas de riego, mejor conocimiento de la hidrogeología.

- Políticos: El Plan Nacional de Colonización Agraria fue la primera iniciativa que impulsó la perforación de pozos con las nuevas tecnologías, apoyado por la FAO. Desde décadas antes, en toda España los gobiernos fomentaron los cultivos de regadío, que aumentaron notablemente la producción agrícola, y consiguientemente aumentaron los ingresos de los agricultores.

- Económicos: la alta rentabilidad de los cultivos consumidores de agua desde 1970.

- Sociales: el efecto contagio entre los agricultores, al ver los beneficios obtenidos por los agricultores con nuevos pozos.

De esta forma, muchos agricultores fueron abriendo pozos e instalando riego en sus tierras de forma individual, en un fenómeno que se ha denominado por parte de algunos autores "la revolución silenciosa de las aguas subterráneas" (Llamas and Martínez Santos, 2005) (Figura 2.18). Estos cambios se hicieron de forma escasamente controlada y planificada, entre otras razones porque entonces la administración hidráulica no tenía competencias sobre el agua subterránea, que pertenecía al dueño de la tierra (García Carretero, 2003). Esos años empezaron a hacerse los primeros estudios hidrogeológicos (SGOP, 1975), y desde 1973 se hizo una medición periódica de los niveles piezométricos y se estimaron las superficies de regadío (Martínez Cortina, 2003).

Figura 2.18. Fotografías que sirven para ilustrar el cambio de cultivos que ha acompañado a la revolución silenciosa de las aguas subterráneas.
La primera imagen corresponde a los cultivos tradicionales de la zona, viñedos y olivares en secano. Las dos segundas corresponden a los nuevos cultivos en regadío: cereales y hortícolas regados mediante pívot, y viñedos en espalderas, regados mediante goteo.

En 1974 se estimaba que había 30.000 ha en regadío, y la superficie fue creciendo hasta que en 1985 ya había alcanzado las 100.000 ha regadas, y se estima que ese año las extracciones superaban los 450 hm^3 (Figura 2.19 y Tabla 2.13).

Como resultado de la extracción de agua a mayor velocidad de la que entraba en el acuífero, a principios de los años 1980 ya comenzaron a secarse la mayoría de los humedales, y en 1984 se secaron hasta la actualidad los ojos del Guadiana (Velasco Vizcaíno, 2003).

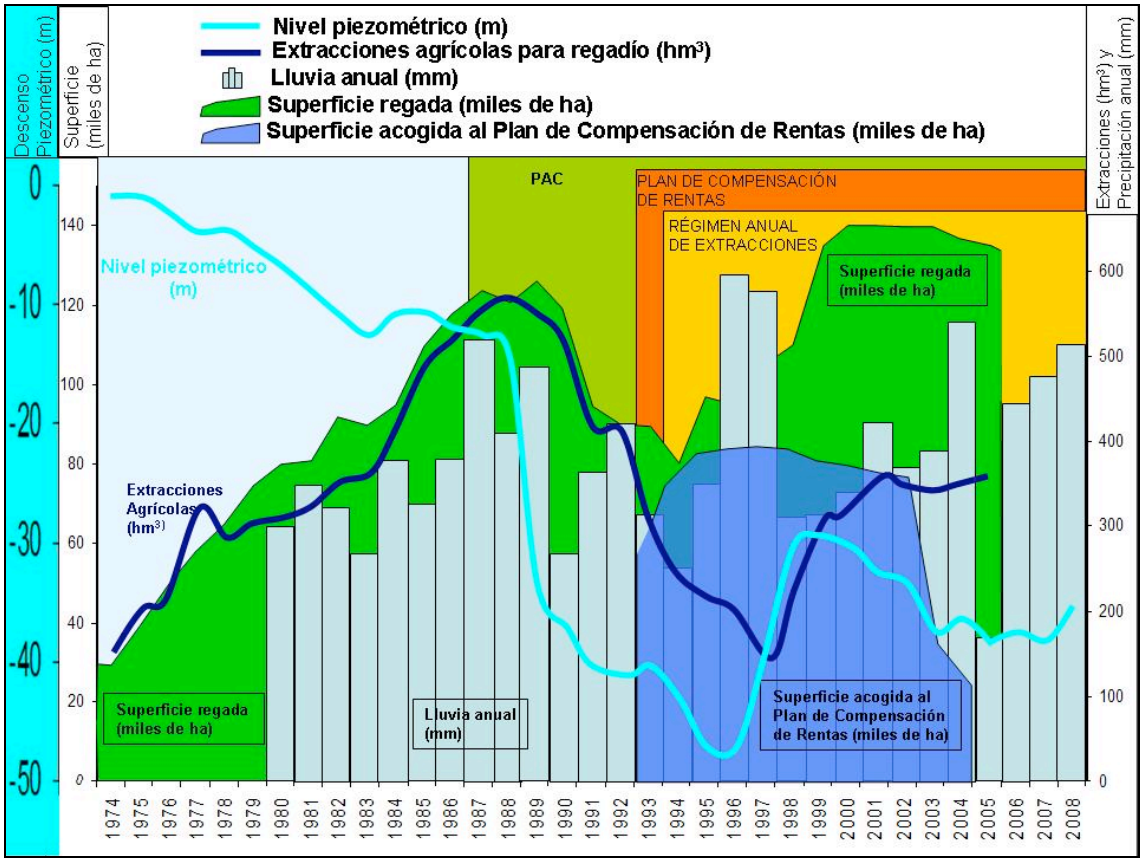


Figura 2.19. Evolución, desde 1974 hasta 2005, del nivel piezométrico del acuífero de la Mancha Occidental, del volumen de extracciones para el regadío, de la precipitación anual, de la superficie de regadío, y de la superficie acogida al Plan de Compensación de Rentas. Elaboración propia a partir de los datos de Martínez Santos (2007), página web INE (2008), SIAR (2008), De la Hera (2003) y CHG (2009).

Tabla 2.13. Evolución, desde 1974 hasta 2005, del nivel piezométrico del acuífero de la Mancha Occidental, del volumen de extracciones para el regadío, de la precipitación anual, de la superficie de regadío, y de la superficie acogida al Plan de Compensación de Rentas. Elaboración propia a partir de los datos de Martínez Santos (2007), página web INE (2008), SIAR (2008), De la Hera (2003) y CHG (2009).

Años	**Superficie regada** (miles de ha) (Martínez Santos, 2007)	**Superficie acogida al Plan de Compensación de Rentas** (miles de ha) (Martínez Santos, 2007)	**Precipitación anual** (mm) Ciudad Real, Escuela De Magisterio (página web INE: 1980-2006 + SIAR, 2008: 2007-2008)	**Extracciones** (hm^3/año) (De la Hera, 2003: 1974-1996 + Martínez Santos, 2007: 1996-2005)	**Niveles del piezómetro nº 738.4.0226**, según numeración CHG, ó nº2029.4.0011, según GME, en Alcázar de San Juan (Martínez Santos, 2007: 1974-2005 + CHG, 2009: 2006-2008)
1974	30	-	-	150	0
1975	40	-	-	200	0
1976	50	-	-	210	-1
1977	58	-	-	320	-3
1978	65	-	-	290	-3
1979	75	-	-	300	-4
1980	80	-	299	310	-6
1981	81	-	353	320	-8
1982	92	-	326	350	-10
1983	90	-	264	360	-12
1984	95	-	382	410	-10
1985	110	-	326	480	-10
1986	118	-	384	520	-11
1987	124	-	521	550	-12
1988	121	-	414	570	-14
1989	126	-	488	550	-33
1990	118	-	269	520	-37
1991	95	-	366	420	-40
1992	90	-	424	410	-41
1993	90	58	314	305	-40
1994	80	75	251	250	-43
1995	97	83	353	220	-47
1996	95	85	595	200	-47
1997	105	85	579	130	-40
1998	110	84	312	200	-30
1999	135	81	314	300	-29
2000	140	80	341	310	-30
2001	140	78	425	360	-32
2002	140	77	369	350	-33
2003	140	35	392	340	-37
2004	137	25	543	350	-36
2005	135	-	168	360	-38
2006			454		-37
2007			490		-38
2008			510		-35

2.4.3 La ley de aguas de 1986

El 1 de enero de 1986 entró en vigor una nueva Ley de Aguas (Ley 29/1985, de 2 de agosto), que transformó el carácter del agua subterránea de privada a pública. En consecuencia, el estado debía encargarse de su gestión, que pasó a manos de los organismos de cuenca o confederaciones hidrográficas. A partir de ese momento, la forma de ordenar las extracciones de agua, fueron las concesiones de agua subterránea, que debe tener cada pozo para poder extraer agua, y que se inscriben en el Registro. Todos los aprovechamientos (pozos) de agua creados a partir de ese momento serían concesiones públicas de uso de agua, y se marcó un plazo transitorio de 50 años en el que los dueños de los pozos ya existentes mantendrían la propiedad

privada del pozo (de los que debían informar a la administración para su inclusión en el Catálogo de Aguas; Ley 29/1985, de 2 de agosto).

Sin embargo, la Confederación Hidrográfica del Guadiana no tenía la capacidad, ni técnica ni económica, para hacer aplicar la ley, y la construcción de nuevos pozos continuó de forma incontrolada (García Carretero, 2003). El 4 de febrero de 1987 la CHG aprobó la "Declaración provisional de sobreexplotación de la U.H. 04.04", y el 15 de diciembre de 1994 se aprobó la "Declaración definitiva de sobreexplotación de la U.H. 04.04" (García Carretero, 2003). La declaración provisional ya incluía cambios muy importantes, como los siguientes (García Carretero, 2003; Viladomiu y Rosell, 2003):

- Prohibición de construir o re-profundizar nuevos pozos: medida que no se ha cumplido, ya que desde entonces se han abierto y profundizado miles de pozos nuevos. La CHG ha abierto expediente a los dueños, pero por diferentes circunstancias que se explican posteriormente, hasta ahora se han impuesto pocas sanciones, y se han seguido abriendo pozos nuevos.

- Establecimiento de un régimen anual de extracciones de agua del acuífero. Desde 1994 (López Gunn, 2003), la Junta de Gobierno de la CHG aprueba cada año el régimen anual de explotación (RAE), que fija la cantidad máxima que se puede regar por hectárea (Figura 2.19). Como la anterior medida, su aplicación ha sido muy irregular.

- Obligatoriedad de constituir comunidades de usuarios de agua. Desde entonces se ha creado una comunidad de usuarios en cada municipio, y una Comunidad General de regantes del acuífero de la Mancha Occidental.

Tal como explica Martínez Santos *et al*. (2008-b): "Desde entonces hasta la actualidad, y debido en parte a la puesta en práctica de diversas medidas que a continuación se comentan, tanto las extracciones totales, como la superficie en regadío, han experimentado notables oscilaciones hasta alcanzar una aparente estabilización en los últimos cinco años".

2.4.4 La importancia de las políticas agrícolas

Estas políticas hídricas para reducir las extracciones agrícolas chocaron, sin embargo, con otra política gubernamental que iba en el sentido opuesto. A lo largo de las décadas de los años 1970 y 1980 el regadío se fomentó por la aplicación de programas de política agraria. Posteriormente, tras la entrada de España en la Unión Europea (entonces CE) en 1986, la Política Agraria Comunitaria (PAC), que subvencionaba en función de los rendimientos productivos de los cultivos, siguió apoyando a los cultivos de regadío, ya que son más productivos que los de secano (Varela-Ortega, Sumpsi y Blanco, 2003). La coincidencia de políticas con objetivos contrarios ha sido denunciada como un factor más que ha contribuido a complicar la gestión de los recursos hídricos en el acuífero (López Sanz, 1998). La coordinación de las administraciones hidráulicas y agrícolas se ha detectado como imprescindible para conseguir la recuperación del acuífero.

Como la superficie de regadíos y las extracciones no dejaban de aumentar, la Consejería de Agricultura de Castilla la Mancha y el Ministerio de Agricultura, pusieron

en marcha el llamado "Plan de Compensación de Rentas". Mediante este plan se subvencionaba a los agricultores por reducir voluntariamente su volumen de riego en un cierto porcentaje. Este plan tuvo tres periodos: 1993-1997, 1998-2002 y 2003-2007. Durante el primer periodo fue aumentando la superficie que se acogió a las subvenciones, hasta un máximo de 85.000 ha. Durante el segundo periodo, se mantuvo una media de 80.000 ha acogidas cada año, aunque con una tendencia descendente. El último periodo comenzó con 35.000 ha acogidas y siguió descendiendo hasta el 2007 (Figura 2.19).

Aún así, las consecuencias del Plan de Compensación de Rentas (en adelante, PCR) fueron importantes especialmente durante el primer periodo, que además coincidió con la declaración definitiva de acuífero sobreexplotado y con una serie de años muy húmedos. El PCR propició una sustitución de la superficie regada de maíz, remolacha, alfalfa y girasol, que eran los cultivos que más agua consumían, por otros menos consumidores, debido a que el PCR limitaba el agua que se podía usar en cada explotación (Martínez Cortina, 2003). Todas estas circunstancias, unidas a un periodo extraordinariamente lluvioso, contribuyeron a una notable recuperación del acuífero de hasta 10 metros, durante el periodo 1995-1997 (Viladomiú y Rosell, 2003).

Los efectos del PCR sobre el acuífero perdieron importancia en los siguientes periodos. Posiblemente influyó la picaresca entorno a las subvenciones, como por ejemplo, no respetar los límites de riego impuestos por el PCR o acoger tierras con pozos secos. Además dejó de ser atractivo para los agricultores, puede que en parte por el aumento del control de su aplicación. Entre las críticas que se han hecho al PCR son que tuvo un gran coste público (250 millones de euros en total durante los primeros 10 años) y que no consiguió la transformación estructural de la agricultura en la zona, por lo que los agricultores seguían con el modelo de agricultura de regadío (Viladomiú y Rosell, 2003). Las subvenciones de la PAC que favorecían la producción, también iban en contra del éxito del PCR. De esta forma, a partir de 1998 continuó la tendencia descendente del nivel piezométrico del acuífero (Figura 2.19).

Actualmente la PAC ha sufrido notables cambios tras la reforma de 2003 (reforma de Luxemburgo (Peiteado, 2008), pues las subvenciones se destinan en función de la tierra y el cultivo, pero no en función de la cantidad producida. Esta nueva forma de subvención se llama "ayudas desacopladas" (Comisión Europea, 2007). Otra reforma fijaba que los agricultores debían respetar una serie de medidas para mejorar las consecuencias ambientales de los cultivos si querían recibir las ayudas, lo que se ha llamado como eco-condicionalidad (Varela Ortega, 2007). Ambos cambios hicieron que se redujera la superficie dedicada a los cultivos más intensivos en el uso de agua (Carmona, 2008). En el capítulo 5, "La red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental" se explica en mayor detalle el funcionamiento actual de la PAC y sus posibles cambios futuros.

2.4.5 Plan de Regeneración Hídrica del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel

Como se ha comentado, las extracciones provocaron el descenso del nivel piezométrico, y por lo tanto la desecación de los humedales dependientes del acuífero. Debido a la mala situación de conservación del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, en la década de los noventa se tomaron varias medidas para intentar mejorar

su estado. Se tomaron tres medidas principales para intentar mantener una pequeña superficie de las antiguas tablas encharcada (García, 1996).

a) Se construyó una pequeña presa al final del Parque Nacional, con el objetivo de evitar la salida superficial de las aguas que llegaran.

b) Se aprobó la extracción de agua del acuífero para inundar una pequeña zona cuando no hubiera aportes superficiales.

c) Se aprobó derivar agua desde el Trasvase Tajo-Segura hasta el Parque Nacional para conseguir el mismo objetivo que la medida anterior. Esta medida se ha realizado desde 1988 hasta la actualidad.

Aunque esta última medida tenía supuestamente un objetivo ambiental, planea detrás la idea de que podía ser el primer paso hacia la re-asignación del Trasvase Tajo-Segura a la cuenca del Guadiana. Los objetivos ambientales, desde luego, eran cuestionables por varias razones. La primera, es que sería más fácil extraer agua del propio acuífero que transportarla desde el trasvase. La segunda, es que el agua se derivaba por el curso del río Gigüela, para lo que el cauce de este río fue canalizado, con lo que se secaron los humedales asociados al río Gigüela (que sumaban en conjunto un tamaño similar al de las Tablas de Daimiel (de la Hera, 1998). La tercera, es que durante el transporte hasta el Parque, una parte importante se pierde por evaporación y por infiltración (de la Hera, 1998), con lo que al Parque termina llegando sólo una porción de la que sale del Trasvase Tajo-Segura. Éste último hecho, la infiltración al acuífero, sin embargo, si que podría tener su razón ambiental, ya que sirve para recargar el acuífero.

2.4.6 El Plan Especial del Alto Guadiana (PEAG)

Como los niveles del acuífero seguían descendiendo, la ley 10/2001, de 5 de julio, por la que se aprobó el Plan Hidrológico Nacional, ordenó la elaboración de un plan especial para el Alto Guadiana en el plazo de un año, con el objetivo de "mantener un uso sostenible de los acuíferos de la cuenca alta del Guadiana". Después de numerosos borradores, reuniones, manifestaciones y negociaciones, finalmente en enero de 2008 se aprobó el Plan Especial del Alto Guadiana (RD 13/2008, de 11 de enero). El Plan Especial del Alto Guadiana (PEAG) tiene un presupuesto de 5.500 millones de euros, desde 2008 hasta 2027. Su principal objetivo es "la consecución del buen estado de las masas de aguas subterráneas y superficiales asociadas, corrigiendo el déficit hídrico estructural existente en el ámbito territorial descrito en el artículo 4 de este real decreto, todo ello en el marco de un desarrollo sostenible de los usos agrícolas y económicos". Además, pretende ser el instrumento básico que contribuya a cumplir los objetivos de la Directiva Marco del Agua, pretende desarrollarse en sintonía con las premisas de la misma y se pretende que se integre en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadiana, que debe aprobarse a finales de 2009. La Directiva 2000/60/CE, Directiva Marco del Agua (DMA) (DOCE, 2000), establece que se ha de alcanzar el buen estado cuantitativo y cualitativo de las masas de agua superficiales y subterráneas, así como el buen estado de los ecosistemas de aguas superficiales asociados a ellas.

Las principales actuaciones del PEAG se han incluido en la Tabla 2.14.

El Gobierno debe incluir las partidas necesarias para la ejecución de las diferentes medidas del PEAG en la Ley de Presupuestos Generales del Estado, excepto las dos últimas, que estarán financiados con el Programa de Desarrollo Rural Sostenible del Alto Guadiana (Reglamento (CE) nº 1698/2005, de 20 de septiembre, del Consejo, relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), en el Marco Nacional de Desarrollo Rural 2007-2013 y en el Real Decreto 1113/2007, de 24 de agosto).

Tabla 2.14. Principales actuaciones del PEAG y su presupuesto. Fuente: PEAG (CHG, 2008).

Programa	Objetivo	Presupuesto
Adquisición de derechos de uso de agua y de terrenos	La recuperación de las masas de agua.	810 Millones €
Programa Hidrológico	Control y ordenación de los pozos: inventario de aprovechamientos, instalación y control de caudalímetros, estimación de consumos por teledetección, etc.	432 Millones €
Programa de Apoyo a las Comunidades de Usuarios	Que participen en la gestión del recurso, en la vigilancia de cumplimiento de la legalidad y en el ejercicio de la acción sancionadora.	34 Millones €
Programa Ambiental	Mejora de los espacios naturales y en la forestación de determinados suelos que en la actualidad se dedican al cultivo agrícola.	1.670 Millones €
Programa de Información y Sensibilización Ambiental	Aumentar el conocimiento y concienciación de los problemas ambientales relacionados con el agua.	55 Millones €
Programa de Abastecimiento y Saneamiento	Garantizar los usos prioritarios de abastecimiento de la zona y mejorar las condiciones de depuración.	763 Millones €
Programa de desarrollo económico y social	Buscar alternativas para ayudar al desarrollo económico y social de la zona afectada por la reconversión agrícola.	589 Millones €
Programa de modernización y desarrollo agrario	Apoyar cultivos de secano o de bajo consumo de agua.	940 Millones €
PRESUPUESTO TOTAL		5.293 Millones €

Este es el instrumento principal de la administración para gestionar los recursos hídricos del Alto Guadiana en los próximos años, por lo que ha sido objeto de detallado análisis en este trabajo.

Durante el primer año de aplicación del PEAG, su desarrollo ha sido irregular: la formación y activación del Consorcio, organismo creado para gestionar el PEAG, todavía no se ha completado; la instalación de caudalímetros con emisores de sus mediciones por radiofrecuencias ha comenzado con cierto éxito, con la colaboración de las comunidades de usuarios; el presupuesto incluido en los Presupuestos Generales del Estado al PEAG ha sido mucho menor de lo incluido en los presupuestos del PEAG correspondientes al primer año (48 millones de euros frente a los 187 Mill € recogidos en los presupuestos del PEAG[2]). Esto ha disminuido enormemente la capacidad de la administración para la adquisición de derechos de uso de agua, que es una de las medidas más importantes (Tabla 2.15). Todavía hay mucha incertidumbre en cuanto a cómo se ejecutarán las medidas del PEAG. Por ejemplo, de las 85 compras de

[2] El día de Toledo, 31 de enero de 2008. "Puxeu miente al decir que hay dinero suficiente para el PEAG".

derechos de uso de agua que se han hecho en 2008, sólo 12 de ellas (que completan 259 ha) se han acogido al plan de forestación[3]. Esta pequeña demanda puede deberse, sin embargo, a que todavía es pronto para saber cómo se va a aplicar esta medida.

Por último, es interesante indicar el alto número de solicitudes para regularizar pozos sin derechos que ha recibido la CHG: 7.600[4].

Tabla 2.15. Datos relativos a la compra de derechos de uso de agua en el acuífero de la Mancha Occidental. Presupuesto inicial, oferta pública, dinero finalmente gastado, número de derechos adquiridos, superficie con derechos adquirida y volumen de derechos adquiridos.

Datos relativos a la compra de derechos de riego realizados por la CHG							
Fecha oferta	Presupuesto PEAG(Mill €)	Presupuesto Oferta(Mill €)	Gastado (Mill €)	Nº ofertas adquiridas	Ha	Volumen inscrito recuperado hm^3	Fuente
11/2006	0	0.6	0,5	4	56	0,2	3
4/2007	0	10	9,5	35	1.061	4,4	3
9/2007	0	30	12,3	79	1.282	5,3	3
9/2008	115	12	11,9	85	1.256	5,3	1, 3
2009	120	20?					2
2010	145						
2011	145						
2012	170						
2013	115						

1. Relación de adjudicatarios del contrato administrativo especial para la adquisición de derechos de uso del agua. Oferta Pública 1/08. Confederación Hidrográfica Del Guadiana. Ministerio De Medio Ambiente, Y Medio Rural Y Marino. Consultado en http://www.chguadiana.es/.
2. Agencia EFE. 21/01/2009. "Calleja se queja de que la partida del PEAG es "muy inferior" a la prevista".
3. Eduardo Alvarado Corrales. Enero 2009. "Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda. Programas y Actuaciones". Presidente Confederación Hidrográfica del Guadiana. Descargado de http://www.chguadiana.es/.

2.5 CONSECUENCIAS DEL USO INTENSIVO DE RECURSOS HÍDRICOS EN EL ACUÍFERO DE LA MANCHA OCCIDENTAL

El uso intensivo de agua subterránea ha tenido una serie de beneficios y perjuicios. El beneficio directo más importante ha sido un aumento de la productividad agrícola. Esto ha tenido, a su vez, consecuencias sociales positivas, desde aumentar la capacidad económica de la población, mejorar sus condiciones de vida, diversificar las actividades productivas, etc. Los perjucios más importantes han sido el deterioro ambiental, descrito en el apartado 2.4.

[3] Lanza. 13 diciembre de 2008. "La CHG recupera los derechos de 5 hm^3 más de agua del acuífero 23". Declaraciones de E. Alvarado, presidente de la CHG.

[4] Fuente: Agencia EFE. 21/01/2009. "Calleja se queja de que la partida del PEAG es "muy inferior" a la prevista".

2.6 CONFLICTOS SOCIALES ENTORNO A LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL ACUÍFERO DE LA MANCHA OCCIDENTAL

La situación descrita en los apartados anteriores se ha desarrollado con un notable clima de conflictos y enfrentamientos entre los distintos implicados. Estos conflictos surgieron, tal como explica Martínez Cortina (2003), incluso antes de comenzar a crearse pozos modernos (con turbina), hacia 1970. En aquellos años había proyectos para desecar los humedales del acuífero, para poner sus tierras en cultivo y, a la vez, para aprovechar el agua que acumulaban. Precisamente en esos años aparecieron los primeros grupos ecologistas en España, que se oponían a la destrucción de los humedales. Finalmente consiguieron la protección de las Tablas de Daimiel en 1973, por medio de la figura de Parque Nacional, y la paralización de la mayoría de los proyectos de desecación de los humedales.

Posteriormente, los grupos ecologistas han sido uno de los protagonistas en los conflictos relacionados con la gestión del agua. Su preocupación por el deterioro y desaparición de los humedales les ha impulsado a protestar continuadamente pidiendo el control y la reducción de las extracciones agrícolas. Critican a los agricultores por no preocuparse por las consecuencias de sus acciones, y por no respetar las diferentes medidas legales que se han aprobado para reducir las extracciones. También critican a la Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG) y a los políticos por no aplicar en la práctica las medidas legales aprobadas. De igual modo, critican a la administración regional de agricultura, por promover una agricultura de regadío intensivo en lugar de fomentar la agricultura de secano y la agricultura ecológica (Figura 2.20 y Tabla 2.16).

A partir de la aprobación de la ley de aguas de 1985 también surgieron conflictos entre los agricultores y la administración hidrográfica. La transformación de los derechos privados de uso de agua en concesiones públicas supuso la primera causa de enfrentamiento. Muchos agricultores siguen pensando que su derecho es privado y que no debe ser público. Tras la declaración como acuífero sobre-explotado, el conflicto aumentó, ya que los agricultores se oponían a la prohibición de construir o re-profundizar nuevos pozos y a la limitación del agua de riego mediante el Régimen Anual de Explotación. La oposición a estas medidas ha sido intensa, y además de organizar manifestaciones y actos en contra, han ejercido lo que la Confederación Hidrográfica ha llamado una "insumisión hidráulica" (CHG, 1995). Es decir, que siguieron abriendo nuevos pozos, no respetaron los límites de extracciones y recurrieron las miles de sanciones que les imponía la CHG. Como consecuencia, la CHG se vio desbordada y no tuvo capacidad para hacer cumplir las normas. A ello contribuyó la escasez de medios con los que contaba la CHG para la gestión de acuíferos, y sobre todo el elevado volumen de expedientes y trámites que debían realizar, con un limitado número de trabajadores. La oposición de los agricultores a las medidas adoptadas por la CHG, llegó hasta las amenazas a los agentes hídricos que van a hacer las inspecciones al campo. Los agricultores critican a su vez a los ecologistas por preocuparse más por la vida de las aves acuáticas que por la vida de sus vecinos agricultores.

La gran oposición de los agricultores también influyó en las decisiones políticas que se tomaban, como se puede ver en el siguiente ejemplo. Por lo menos en dos ocasiones, la llegada de un nuevo comisario de agua significó que se comenzaran a ejecutar las sanciones pendientes. Ante la nueva política de la CHG, los agricultores respondieron con grandes movilizaciones sociales, que terminaron cuando dicho comisario era

relegado de su cargo, y el nuevo comisario tomaba otra actitud con las sanciones (Serna y Gaviria, 1995).

El colectivo de regantes es muy heterogéneo y tienen notables diferencias entre ellos:

- Agricultores a tiempo completo y agricultores a tiempo parcial
- Agricultores con pequeñas explotaciones (1-10 ha), medianas (10-50 ha) y grandes (50-500 ha).
- Agricultores con sus pozos regularizados y agricultores sin pozos regularizados
- Comunidades de regantes afiliadas a la Comunidad General y comunidades no afiliadas.
- Otras diferencias menos claras pero importantes.

Como consecuencia, también entre ellos hay diferencias y conflictos relativos a los derechos a usar el agua y a las prioridades que deben darse en el reparto de la misma (Figura 2.20 y Tabla 2.16).

Entre la CHG y las administraciones agrarias (ministerio y consejería) no ha habido conflictos como tal, pero si una falta de coordinación de sus políticas, como se ha explicado en el apartado 2.4.

Finalmente, hay que decir que durante los últimos cinco años el clima de conflicto ha disminuido. Ha aumentado el entendimiento entre las diferentes partes implicadas, como resultado de una mayor comunicación entre ellos. A ello ha podido contribuir el proceso de aprobación del PEAG, que se ha realizado de forma más participativa que normas anteriores. También ha intentado ser un documento de consenso entre los intereses de las diferentes partes implicadas. El proceso de participación desarrollado por el proyecto NeWater desde 2006 a 2008, también ha podido contribuir al descenso de los conflictos.

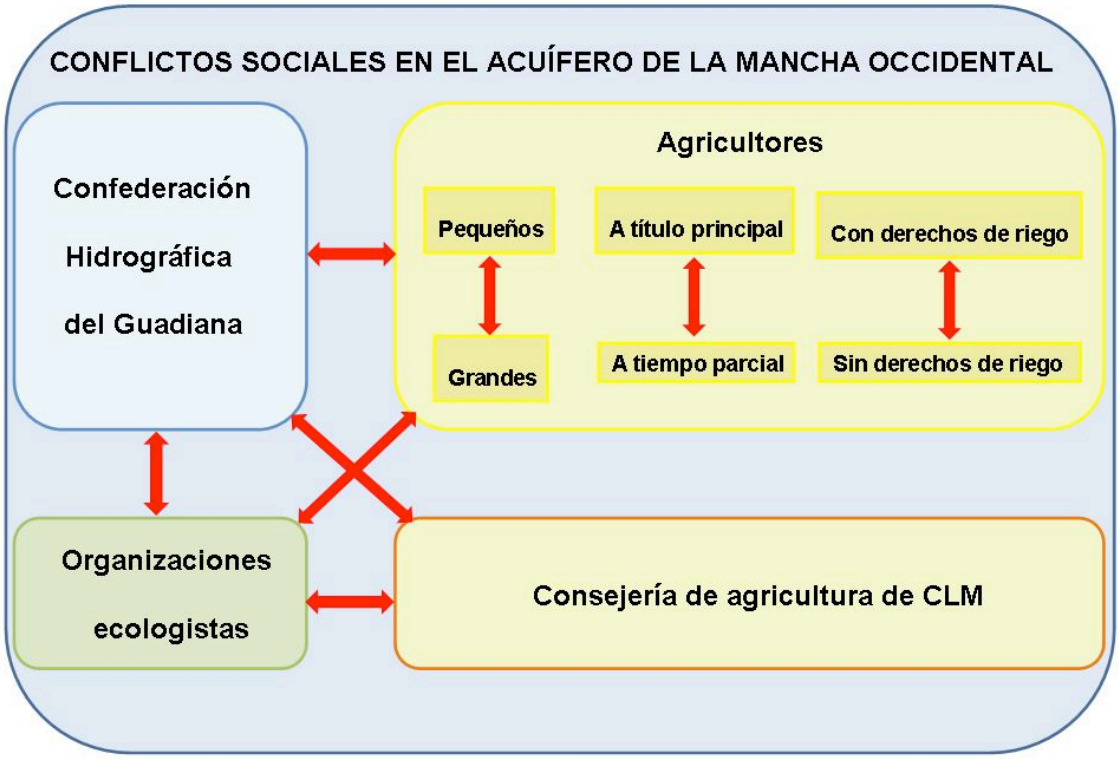


Figura 2.20. Esquema de los principales conflictos sociales que se han producido por la gestión del agua en el acuífero de la Mancha Occidental.

Tabla 2.16. Resumen de conflictos en el acuífero de la Mancha Occidental por la gestión del agua.

	CHG	**Agricultores**	**Organizaciones ecologistas**	**Consejería de agricultura de JCCM**
CHG	-	Los agricultores se oponen a las medidas de la CHG	Creen que la CHG no hace todo lo posible por controlar las extracciones ilegales	Cree que la CHG quiere recuperar el acuífero a costa de los agricultores
Agricultores	CHG impone multas a los agricultores por no cumplir la ley de aguas	Entre agricultores con derechos de riego y sin derechos de riego Pequeños agricultores frente a grandes agricultores Agricultores a título principal frente agricultores a tiempo parcial	Creen que los agricultores están ganando dinero a costa del acuífero y de los humedales	Ausencia de conflictos importantes
Organizaciones ecologistas	Cree que las ONGs les presionan demasiado	Los agricultores piensan que los ecologistas defienden más a los patos que a sus propios vecinos	Ausencia de conflictos importantes	Piensa que los ecologistas piensan más en los patos que en el desarrollo de la región
Consejería de agricultura de JCCM	La CHG cree que la Consejería Agricultura no tiene en cuenta la recuperación del acuífero	Ausencia de conflictos importantes	Creen que la Consejería de Agricultura fomenta el regadío	-

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LAS REDES BAYESIANAS

Para la elaboración de la presente tesis se ha colaborado con tres grupos de investigación europeos expertos en redes bayesianas, dos de ellos dentro del proyecto NeWater (Universidad de Oxford-Centre for Environment (OUCE) e Instituto Geológico Danés (GEUS)), y un tercero con el que el autor ha hecho una estancia de investigación durante 15 días (Universidad de Aalborg, Dinamarca), y que son los autores del programa HUGIN. Esto ha permitido disfrutar de un asesoramiento continuo desde el inicio del estudio, tanto sobre los fundamentos teóricos y prácticos de las redes bayesianas, como para la utilización del programa y para la interpretación de los resultados.

3.1 QUÉ SON LAS REDES BAYESIANAS

Una red bayesiana (en inglés llamadas *Bayesian Networks*, *Belief networks*, *Bayesian belief networks, Bayes nets, Decision networks,* o *causal probabilistic Networks*), es un gráfico dirigido acíclico, en el que se representan variables unidas por flechas que indican relaciones entre ellas, y dichas relaciones se definen (cuantifican) a través de distribuciones de probabilidad (Pearl, 1986).

Una variable es "una magnitud cuyos valores están determinados por las leyes de probabilidad", es decir, "una magnitud que puede tener un valor cualquiera de los comprendidos en un conjunto", como por ejemplo los puntos resultantes de la tirada de un dado (1, 2, 3, 4, 5 ó 6) (Real Academia de la Lengua Española, 2008).

Las relaciones de probabilidad condicional se dan cuando el estado o valor que toma una variable, está relacionado con el valor que tenga otra variable. En la mayor parte de los casos está relación es causa-efecto, pero no tiene porqué ser así. Esta relación de probabilidad condicional significa que conociendo el valor de una de las variables, se puede saber el valor de la otra variable, con un determinado nivel de probabilidad.

La red bayesiana más simple está formada por dos variables, y teóricamente no tiene un límite superior de número de variables, aunque cuánto mayor sea el número de variables, mayor es la complejidad de la red. Las redes bayesianas se representan en forma de gráficos, en los cuales cada variable está representada por su nombre, y está unida a otras variables por medio de líneas. Las líneas que unen una variable con otra tienen sentido, es decir, son dirigidas. Esto quiere decir que en la realidad una de las variables ocurre antes que otra, que una es la causa de la otra, o que los cálculos para obtenerla se han hecho primero (más adelante se explica la importancia de esta "dirección o sentido") (Figura 3.1).

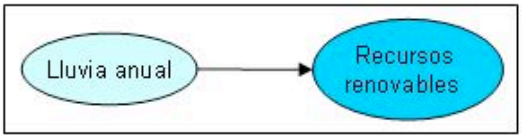


Figura 3.1. Ejemplo de red bayesiana simple.
La cantidad de recursos hídricos renovables está relacionada estadísticamente con el valor que tome la lluvia anual. Por ejemplo, si se saben los recursos renovables de un año cualquiera, se podría saber cuánta lluvia cayó dicho año, con un cierto grado de probabilidad.

Además de los gráficos, las redes bayesianas tienen fórmulas de probabilidad que son las que definen las relaciones de probabilidad entre ellas. Una forma corriente de definir y representar estas fórmulas son las tablas de probabilidad condicional (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Tabla de probabilidad de las variables "Lluvia anual" y "Recursos hídricos renovables".

Recursos hídricos renovables (hm^3)

C4	Año seco	Año medio	Año húmedo
80 - 195	1.0	0.2	0.17
195 - 305	0.0	0.2	0.17
305 - 425	0.0	0.4	0.17
425 - 680	0.0	0.2	0.5

La interpretación de la tabla 3.1 sería: sabiendo que estamos en un año seco, la probabilidad de que los recursos renovables sean entre 80 y 195 hm^3 al año, es del 100%; mientras que en un año húmedo, la probabilidad sería del 17%.

3.1.1 Partes de una red bayesiana

A. Variables y sus estados

Las variables de una red bayesiana representan los factores más relevantes que intervienen en un determinado problema o sistema. Los factores pueden ser de cualquier tipo: físicos, ambientales, sociales, económicos, administrativos, legales, o de cualquier otra naturaleza.

Las variables pueden tomar diferentes valores o tener distintos estados, que representan el rango de condiciones que podría ocupar bajo diferentes circunstancias. En teoría, no hay límite superior del número de estados que puede tener una variable, aunque cuanto mayor es el número de estados, más complicada es la red bayesiana, y por tanto, más memoria o tiempo es requerido por el procesador informático para hacer los cálculos.

Los estados de las variables pueden ser continuos o discretos. Si son continuos, se definen con la media y la varianza de una función de distribución normal. Si son discretos, se pueden definir de cuatro formas distintas:

- con nombres (por ejemplo alto, medio y bajo)

- con números (por ejemplo 10, 20 ó 30)
- como intervalos (por ejemplo 50.000-70.000, 70.000-90.000, 90.000-100.000)
- de forma "binaria" (por ejemplo verdadero y falso).

B. Relaciones entre variables

Las relaciones entre las variables expresan una dependencia probabilística entre ellas. El establecimiento de una relación entre dos variables se puede hacer de dos formas. La más sencilla es que las personas que construyen la red decidan cómo será la relación, de acuerdo a estudios, modelos, datos o conocimientos. La otra forma, más complicada, es introduciendo series de datos existentes y obteniendo el tipo de relación mediante cálculos estadísticos. Esta segunda forma tiene la gran ventaja de que elimina posibles interpretaciones personales y hace el proceso más imparcial. Por otra parte, tiene varios inconvenientes importantes.

1. El primero de ellos, es que se necesitan datos: series de datos con suficiente calidad, lo que muchas veces no existe o no es posible obtener.

2. El segundo, es que se requiere más tiempo, tanto para obtener los datos, como para prepararlos y para obtener y analizar los resultados.

3. El tercero, es que se necesitan un nivel avanzado de conocimientos estadísticos, no sólo para hacer los cálculos, si no también para interpretarlos, ya que los resultados obtenidos pueden no ser completamente correctos.

Además, una forma para conseguir que las relaciones definidas sean lo más cercanas a la realidad posible, es mediante la participación de un amplio conjunto de personas en su definición. Esta es una de las razones por la que las redes bayesianas tendrán resultados más útiles si se construyen mediante un proceso de participación en el que intervengan todos los actores interesados en el proceso representado.

Como se ha mencionado anteriormente, las relaciones entre variables son dirigidas, saliendo de una variable y llegando a otra. La probabilidad de la segunda variable (llamada también variable "hija") está condicionada a las probabilidades de la primera variable (llamada variable "padre").

Cuando una variable no tiene relaciones procedentes de ninguna otra variable, es decir, si no tiene variable "padre", sus estados están definidos por una distribución de probabilidades, pero no por probabilidades condicionales. Estas variables, llamadas variables "de entrada", pueden representar acciones que se quieran evaluar, escenarios que puedan ocurrir, o condiciones externas conocidas que se quieran simular y que no dependen de ninguna otra variable de la red.

Un ejemplo de variables "padre" e "hija" se presenta en la Figura 3.2. Sus tablas de probabilidad condicional asociadas se presentan en la siguiente página.

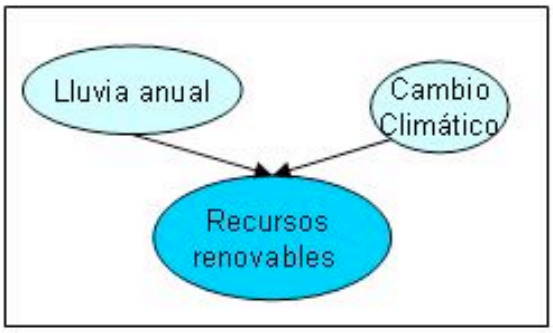


Figura 3.2. Red bayesiana muy simple.
Las variables padre son "Lluvia anual" y "Cambio Climático", que influyen sobre la variable hija "Recursos renovables" (por ejemplo, los recursos hídricos del acuífero de la Mancha Occidental).

C. Tablas de probabilidad condicional (TPC)

La forma mediante la que dos variables están relacionadas se expresa mediante dependencia probabilística o probabilidad condicional. Para cuantificar dicha dependencia probabilística se utilizan tablas de probabilidad condicional. Todas las variables tienen asociada una tabla de probabilidad condicional. La tabla de probabilidad condicional expresa la probabilidad de que una variable se encuentre en cada uno de sus posibles estados, en función de los estados de sus variables padres.

Se debe distinguir entre las tablas de probabilidad condicional de las variables que no tienen "padre", es decir, de las "variables de entrada", de las que si lo tienen. Las tablas de las "variables de entrada" son más sencillas, que las de las demás variables, como se explica a continuación.

En las tablas de las "variables de entrada", se representan las probabilidades de ocurrencia que tiene cada estado de la variable. Es decir, una variable puede tomar diferentes estados, y cada estado tendrá unas probabilidades diferentes de ocurrir. Por ejemplo, la variable "Lluvia anual" es una variable que describe un fenómeno externo, que no está influido por otras variables. Sus probabilidades vienen definidas por la serie de datos climáticos del área de estudio. La probabilidad de que un año sea seco es de un 30%, de ser medio un 37%, y de ser húmedo, un 33% (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Tabla de probabilidad condicional de la variable "Lluvia anual".

Lluvia anual(mm/año)(C4)

Año seco	0.3
Año medio	0.37
Año húmedo	0.33
Fading	1.0

En cambio, las tablas de probabilidad de las "variables hija" (que si tienen "variables padre") son más complejas, porque hay que definir la probabilidad condicional, es decir, qué probabilidades tienen los estados la "variable hija", para cada combinación de los estados de sus "variables padre". Para cada estado de las "variables padre", los estados de la "variable hija" tendrán diferentes probabilidades. Cuanto mayor sea el

número de "padres" y mayor sea el número de estados en las variables implicadas, mayor será la tabla de probabilidad condicional.

Por ejemplo, la variable "Recursos renovables" tiene una probabilidad del 50% de ser máxima (425-680 Hm^3) cuando el año sea húmedo y cuando no haya impactos del cambio climático (Tabla 3.3). En cambio, cuando el año sea medio y los efectos del cambio climático sean severos, la probabilidad de que dicha variable presente el estado de 425-680 hm^3 baja a ser sólo del 16,5%.

Tabla 3.3. Tabla de probabilidad condicional de la variable "Recursos renovables" en la que se ve cómo las probabilidades de sus estados dependen (están condicionadas) de sus variables padre.

Recursos hidrícos renovables hm^3	"Variables padre"								
	Sin impactos del cambio climático			Cambio climático Moderado			Cambio climático Severo		
	Año seco	Año medi	Año húme	Año seco	Año medi	Año húme	Año seco	Año medi	Año húme
80 - 195	1.0	0.2	0.17	1.0	0.215	0.185	1.0	0.235	0.205
195 - 305	0.0	0.2	0.17	0.0	0.215	0.185	0.0	0.23	0.2
305 - 425	0.0	0.4	0.17	0.0	0.385	0.155	0.0	0.37	0.14
425 - 680	0.0	0.2	0.5	0.0	0.185	0.485	0.0	0.165	0.465

La clave para construir una buena red bayesiana está en tener los mejores datos posibles para construir las tablas de probabilidad condicional. Frecuentemente ocurre que los mejores datos disponibles son imperfectos, o no se puede confiar en ellos completamente. Una ventaja de las redes bayesianas frente a otros métodos, es que pueden utilizar cualquier tipo de dato aunque su nivel de representatividad sea limitado. Esto se puede hacer con las redes bayesianas porque a cada estado se le asigna una probabilidad. Si la certeza o representatividad de los datos es pequeña, las probabilidades son menos precisas, y la distribución de probabilidad será muy amplia. En estos casos la confianza de los resultados también será menor.

Los datos para completar las redes bayesianas pueden provenir de tres fuentes principales: de medidas directas (por ejemplo, los datos climáticos, o el nivel piezométrico de un acuífero), de modelos (por ejemplo, la velocidad a la que podría aumentar o disminuir el nivel piezométrico) o de la opinión de expertos (por ejemplo, la cantidad de regadíos que van a verse afectados por el Plan de forestación).

3.1.2 Cómo funcionan las redes bayesianas

Una red bayesiana representa un sistema o problema. Se construye para estudiarlo y analizar qué consecuencias tienen unos factores (acciones, condiciones, escenarios, etc.) sobre otros (indicadores). Una vez construida, los resultados que aporta son distribuciones de probabilidad, es decir, la probabilidad de producirse cada estado de las variables indicadores, dadas unas determinadas condiciones.

¿Cómo lo hace? Primero calcula las probabilidades de las "variables de entrada", para cada uno de los estados que puedan adquirir. Siguiendo el ejemplo anterior, estas variables serían la "Lluvia anual" y el "Cambio climático", y sus probabilidades serían las incluidas en la Figura 3.3:

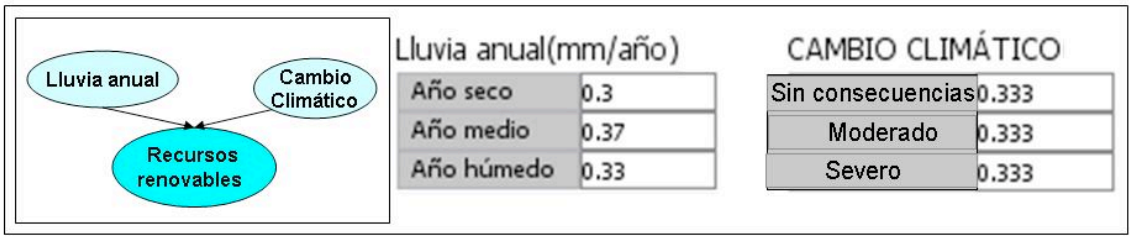


Figura 3.3. Red bayesiana simple utilizada como ejemplo, junto a las TPC de sus "variables de entrada".

Como también se conoce las probabilidades condicionales de la variable hija, (Tabla 3.3), se puede calcular las probabilidades que tendrán los estados de la variable hija (Figura 3.4). En el caso del ejemplo, el estado que tiene más probabilidades es que haya de 80 a 195 hm^3, con un 44,12% de probabilidad. Esto se calcula utilizando la regla de Bayes, que se describe en el siguiente apartado.

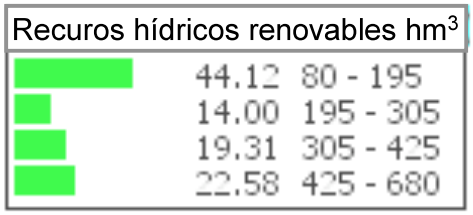


Figura 3.4. Probabilidades de la variable "Recursos hídricos renovables", dadas las condiciones establecidas en las tablas de la figura 3.3.

Las redes bayesianas también permiten hacer los cálculos en sentido contrario, de forma que conociendo el estado de una variable hija, se puede saber los estados más probables de sus variables padres.

3.1.3 Fundamentos estadísticos de las redes bayesianas

El objetivo de este apartado es explicar cómo se llega desde la distribución de probabilidades de las "variables padre" a la distribución de probabilidades de las "variables hijas", partiendo de la Tabla de Probabilidad Condicional de esta última. Los cálculos que se explican a continuación los realizan automáticamente los programas informáticos de redes bayesianas, tales como "HUGIN", que ha sido utilizado en la presente tesis Doctoral, o "NETICA" (Peracho, 2007).

Al hablar de probabilidades, siempre se asume que dichas probabilidades se dan para una serie de circunstancias o condiciones, que pueden hacerse explícitas o no. Por ejemplo, cuando se dice que la probabilidad de que al tirar un dado salga el nº 5 es de 1/6, normalmente no se dice que se debe dar el requisito de que el dado sea "justo", es decir, que sea homogéneo y todos los lados tengan las mismas probabilidades de aparecer. Por tanto, dicha probabilidad se dará sólo cuando el dado sea "justo". De esta forma, cualquier probabilidad está condicionada a otras circunstancias. Si se trata de definir las condiciones de las que depende una determinada variable, se utiliza la probabilidad condicional (Jensen y Nielsen, 2007).

La probabilidad condicional se basa en afirmaciones del tipo: "dado el caso B, la probabilidad del caso A es p". La fórmula que se utiliza para representar esta afirmación es:

P(A I B)

Para ilustrar esto se va a utilizar el ejemplo de una baraja española:

P(A) = probabilidad de obtener una carta de espadas, al coger una carta al azar de una baraja española = 10/40.

P(B) = probabilidad de obtener un rey al coger una carta al azar de una baraja española = 4/40.

De esta forma, la probabilidad conjunta de A y B, es decir, la probabilidad de obtener un rey de espadas al coger una carta al azar de una baraja española sería = P (A,B) = 1/40.

En este ejemplo, unas probabilidades condicionales podrían ser las siguientes:

Probabilidad de que la carta sea de espadas, si sabemos que ha salido un rey = P(A I B) = 1/4.
Probabilidad de que la carta sea un rey, sabiendo que ha salido un carta de espadas = P(B I A) = 1/10.

La regla fundamental de la probabilidad condicional es:

P(A I B) * P(B) = P(A,B)

Donde P(A,B) es la probabilidad del caso conjunto de A y B. Esta regla sirve para calcular la probabilidad de que ocurran a la vez los casos A y B (que sea una carta de espadas y además un rey), cuando se sabe la probabilidad de A dado B y la probabilidad de B. En el ejemplo, en el que se conoce la probabilidad de ser de espadas sabiendo que la carta sacada es un rey, y la probabilidad de que sea un rey sin saber nada más, como se puede ver, la regla se cumple:

1/4 * 4/40 = 1/40.

De la regla fundamental se puede derivar que P(A I B) * P(B) = P(B I A) * P(A)

En el ejemplo también se cumple y sería: 1/4 * 4/40 = 1/40 = 1/10 * 10/40.

De esta asunción, Bayes definió la famosa regla de Bayes, que da nombre a las redes bayesianas:

$$P(A \mid B) = \frac{P(B \mid A) * P(A)}{P(B)}$$

La regla de Bayes sirve para calcular las probabilidades de un evento (A), si se sabe el estado de otra variable (B). Un ejemplo para entender una situación en la que esta regla sería útil es el siguiente: dos enfermedades distintas causan un mismo síntoma.

Por las estadísticas médicas, se sabe que la enfermedad 1 causa dicho síntoma un 90% de las ocasiones, y que la enfermedad 2 causa el mismo síntoma en un 30% de las ocasiones. Además, por las estadísticas también se sabe que las dos enfermedades afectan a un mismo porcentaje de población (misma probabilidad de ocurrir). Si un doctor detecta el síntoma en un paciente, ¿Cuál de las dos enfermedades lo habrá causado? ¿Con cuánta probabilidad será una u otra? (Jensen and Nielsen, 2007).

La regla de Bayes es la base para calcular las probabilidades de las causas o los efectos en las redes bayesianas (Ames, 2002). Por eso las redes bayesianas pueden usarse para hallar el estado de un subconjunto de variables, dados los valores observados de otras variables de las que dependen (Fenton and Neil, 2001, en Carmona, 2008). Por último, otra de las propiedades más importantes de las redes bayesianas es que su distribución de probabilidad puede expresarse mediante el producto de las distribuciones condicionadas de cada nodo (Domínguez, 2004).

La estadística bayesiana tiene varias diferencias con respecto a la estadística clásica (Anderson, 1998). La estadística clásica tiene dos métodos principales de probar una hipótesis, la que trata de negar la hipótesis nula y la que diferencia entre dos hipótesis excluyentes. En cambio, el enfoque de Bayes trata de estimar la probabilidad de que una hipótesis sea cierta. Por tanto, una de las diferencias principales es que el análisis bayesiano puede asignar grados intermedios de probabilidad de una hipótesis, mientras que la estadística clásica se basa en la negación "total" de una hipótesis. Otra diferencia importante es que la estadística bayesiana no necesita tener una base de datos completa, ya que puede incorporar en los resultados la calidad de los datos. Para un mayor conocimiento del funcionamiento matemático de las redes bayesianas puede consultarse (Pearl, 1988; Pearl, 2000; Jensen and Nielsen, 2007).

3.1.4 Límites en la complejidad de las redes bayesianas

Cuanto menor sea el número de variables y relaciones de una red bayesiana, menor será su error, más fácil será de enteder, y tendrá menos complicaciones para realizar sus cálculos:

a) Una red bayesiana que cubra un sistema con mucho detalle, es decir, con muchas variables y estados, podría ser a primera vista más fiable que una más simple. Sin embargo, desde el punto de vista de la estadística, sólo sería más fiable si todas las suposiciones que se hacen son simultáneamente verdad. Y es más probable que unas pocas suposiciones sean verdad a que lo sean muchas, por lo que estadísticamente las redes bayesianas simples son, en principio, más fiables que las complejas.

b) Cuando una red bayesiana es muy compleja, la memoria necesaria para hacer los cálculos es excesivamente grande. Esto puede ocurrir porque las redes bayesianas sean muy complejas, es decir, que tengan muchas variables o muchas relaciones entre ellas.

El cálculo de las probabilidades de toda red bayesiana se hace a través de una tabla de probabilidad conjunta, que reúne las combinaciones de probabilidades de todas las variables de la red. Las multiplicaciones o combinaciones de las variables se llaman "dominio", y cuanto menor sea su tamaño, menor será el tamaño de su tabla de probabilidad conjunta correspondiente. Por lo tanto, menos memoria necesitará el ordenador para su cálculo. El tamaño de los dominios depende del número de variables que intervengan y del número de estados de cada variable.

Tamaño de los dominios (S) = número de estados de las variables (M) elevados al número de variables (N) (Murphy, 2002):

$$S= M^N$$

Por esta razón, el tamaño de la tabla de probabilidad conjunta aumenta exponencialmente con el número de variables, lo que hace que pueda llegar a ser demasiado grande para su cálculo, con ordenadores de una capacidad media. Para evitar este problema existen diferentes métodos que hacen más eficientes los cálculos.

Uno de ellos, es el método del algoritmo del árbol conjunto (también llamado *Junction tree o Joint tree*) (Jensen and Nielsen, 2007; pág 109-127), que es una versión del método de eliminación de variables. Para construir la tabla de probabilidad conjunta, se utiliza la regla distributiva, que consiste en lo siguiente. En lugar de construir una tabla con todas las combinaciones posibles, se multiplican por separado las variables directamente relacionadas (con lo que se reduce el tamaño de cada tabla) y luego se suman. De esta forma, en lugar de tener una tabla con todas las variables, se tienen varias tablas más pequeñas, y el resultado de cada tabla se suma. Esos cálculos requieren mucha menor memoria que una tabla de probabilidad conjunta gigante.

Un árbol conjunto es una representación gráfica del orden de multiplicación y suma de las probabilidades de las variables, agrupadas según la propiedad distributiva (Figura 3.5). El orden en el que se combinan las variables es importante porque cuánto más pequeñas sean las multiplicaciones, más fácil será su cálculo.

El programa HUGIN 6.9 tiene una aplicación que permite visualizar el árbol conjunto, y saber el número de combinaciones diferentes que podría haber en cada multiplicación (el tamaño de los dominios). Cuánto mayor sea el número de combinaciones, se necesita más memoria del ordenador para hacer los cálculos.

En este caso, red bayesiana tiene 60 variables, con entre 3 y 11 estados cada una de ellas. El árbol conjunto de dicha red se muestra en la figura 3.5, y el tamaño del dominio más grande es de 336.000 (combina 7 variables).

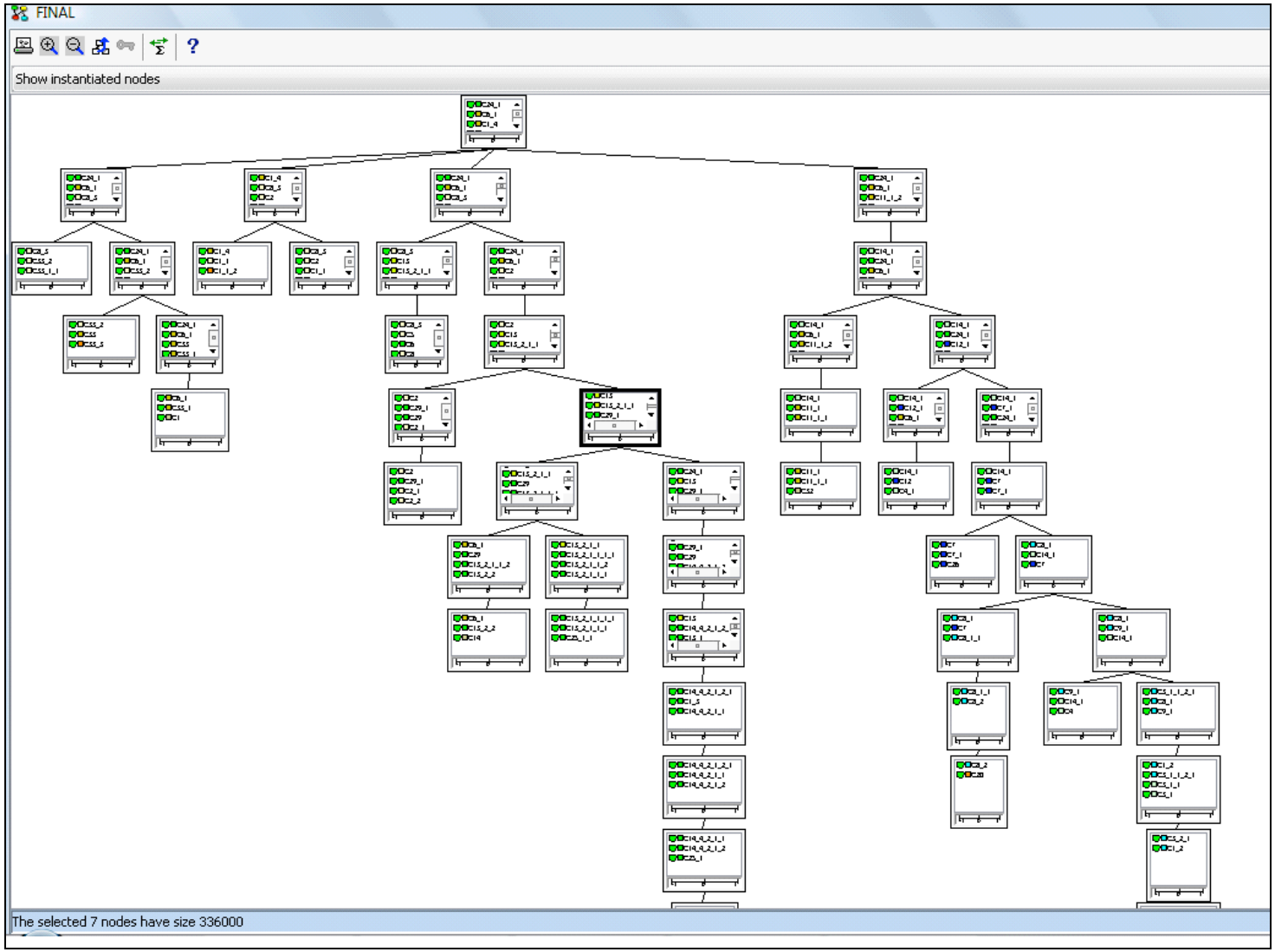


Figura 3.5. *Junction tree* o árbol conjunto de la red bayesiana del Alto Guadiana. Está seleccionado el dominio que tiene mayor tamaño (336.000).

3.1.5 Diagramas de influencia

Una aplicación muy desarrollada de las redes bayesianas son los diagramas de influencia (*Influence diagrams* en inglés). Sin embargo en el presente estudio no se ha revelado como una metodología útil.

Esta metodología utiliza dos tipos de nodos o variables especiales:

- A las variables de entrada se les puede asociar una variable que contenga los costes de cada medida, cambiando su valor dependiendo de los estados de la variable de entrada.

- A las variables de salida u "objetivo", se les asocia otra variable (llamada *Utility nodes*), cuyos estados son los beneficios que se obtienen por cada estado de la variable de salida.

Una vez construida la red bayesiana de este modo, se puede calcular los costes y los beneficios de cada combinación de las variables de entrada. Estos costes y beneficios se calculan de forma matemática, en un solo formato. Por eso hay que traducir los estados de las variables "objetivo", a unos números comparables con los del resto de las variables salida u objetivo. Es decir, hay que poner todas las variables en las mismas unidades.

En este caso, precisamente por su naturaleza integradora, la red bayesiana no puede calcular sus objetivos en una sólo unidad, ya que las unidades de las variables objetivo se dan en volumen (o más bien, años de recuperación), número de trabajadores y euros. Por esta razón, se tradujeron los estados de cada variable objetivo a porcentajes, en función de la cantidad del objetivo conseguido. Por ejemplo, el mantener entre 10.000 y 15.000 agricultores se consideró que sería conseguir un 70% el objetivo de "Nº de agricultores".

Sin embargo, además de que esta traducción era totalmente arbitraria, los resultados seguían sin aportar información adicional de interés. Además, al haber 2 objetivos favorecidos por una alta superficie de regadíos (el número de agricultores y la producción agrícola), siempre tenían más utilidad las acciones que mantenían una alta superficie de regadíos. Por tanto, los escenarios que salían más favorecidos no tenían sentido desde el punto de vista de este trabajo.

En las simulaciones realizadas con los diagramas de influencia no se ha obtenido una gran información, por lo que éstos no han resultado útiles en el presente caso.

3.1.6 Análisis proactivo

Un análisis proactivo es una técnica de análisis de las redes bayesianas que consiste en fijar las "variables objetivo" en unos valores concretos, a fin de saber cuáles serían los valores que necesitarían tomar las "variables de entrada" o acciones para conseguir dichos objetivos. Posteriormente, se pueden fijar dichos valores en las variables que representan las acciones, esperando tener unos resultados cercanos a los introducidos anteriormente. Esta metodología ha resultado de utilidad para construir algunos de los escenarios presentados en el Capítulo 6 "Resultados y discusión de la red bayesiana".

Sin embargo, es necesario señalar que esta técnica tiene una debilidad que conviene tener en cuenta a la hora de utilizarlo. Se basa en que el programa informático aprovecha la incertidumbre introducida en la construcción de las tablas de probabilidad condicional, como se explica a continuación. El análisis proactivo calcula las probabilidades en sentido inverso. Por tanto, aunque la probabilidad de un valor sea muy baja, puede ser utilizada para fijar dicho valor. Cuando se vuelve a introducir el valor en las "variables de entrada", como la probabilidad de dicho estado es muy baja, no sale como la más representada, y por tanto, los resultados no se corresponden con los introducidos como deseados.

A continuación se explica con un ejemplo, utilizando la red bayesiana del presente trabajo:

El ejemplo consiste en la variable "Recursos renovables", que depende de las variables "Lluvia Anual" y "Cambio Climático" (Figura 3.6). Esta variable tiene cuatro valores posibles, y su valor máximo es 425-680 hm^3.

Si ha sido un año de lluvias medias y las consecuencias del cambio climático son moderadas, los "Recursos renovables" tienen sólo una probabilidad del 18,5% de estar en su valor máximo (0.185, en la Tabla 3.4). Por tanto, al hacer el análisis proactivo de la variable "Recursos renovables", y situar el estado deseado en el valor máximo (425-680 hm^3), cabe la posibilidad de que, dependiendo del resto de las variables, el programa informático situe los estados de las variables padre en los de un año medio (lluvias medias y cambio climático moderado). Posteriormente, cuando introducimos dichos estados (lluvias medias y cambio climático moderado) esperando que el resultado sea unos recursos renovables máximos, nos encontramos con que ése valor tiene sólo una probabilidad del 18%, y que lo más probable es que el valor sea 305-425 hm^3, es decir, más bajos de lo que cabría esperar según la información aportada por el Análisis Proactivo.

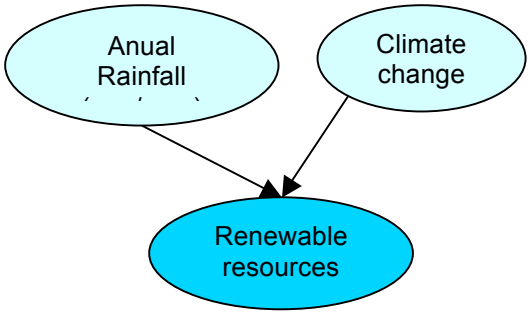


Figura 3.6. Red bayesiana muy simple que representa tres variables: La "lluvia anual" (Anual Rainfall) y el "Cambio climático" (Climate change) influyen en los valores que toma la variable "Recursos renovables" (Renewable resources).

Tabla 3.4. Tabla de probabilidad condicional de la variable "Recursos renovables".

Renewable resources (Mm3)(C9_1)

C14_1	No Climate Change			Moderate Climate Change			Severe Climate Change		
C4	Dry year	Medium y	Wet year	Dry year	Medium y	Wet year	Dry year	Medium y	Wet year
80 - 195	1.0	0.2	0.17	1.0	0.215	0.185	1.0	0.235	0.205
195 - 305	0.0	0.2	0.17	0.0	0.215	0.185	0.0	0.23	0.2
305 - 425	0.0	0.4	0.17	0.0	0.385	0.155	0.0	0.37	0.14
425 - 680	0.0	0.2	0.5	0.0	0.185	0.485	0.0	0.165	0.465
Fading	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Por tanto, esta herramienta puede resultar útil pero hay que conocer esta limitación.

3.2 PROGRAMA INFORMÁTICO UTILIZADO

3.2.1 Características técnicas del programa HUGIN RESEARCHER (basado en Domínguez 2004)

El programa "HUGIN RESEARCHER" (Hugin Expert A/S, 2008) es un sistema de inteligencia artificial que sirve para construir y utilizar redes bayesianas. Ha sido elaborado y es comercializado por la empresa danesa Hugin Expert, fundada por profesores de la Universidad de Aalborg (Dinamarca), que actualmente sigue muy vinculada con su departamento de inteligencia artificial, que es uno de los grupos más avanzados a escala mundial en la investigación de nuevas capacidades de las redes bayesianas.

Para la construcción de la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental se ha utilizado la versión HUGIN RESEARCHER 6.9.

La utilización de este programa a nivel de usuario es relativamente sencilla, pero dispone de opciones avanzadas que requieren una alta especialización. El programa está compuesto por una parte visual y una parte "no visual" que realiza los cálculos probabilísticos. La parte visual hace muy fácil la utilización del programa y tiene dos "pantallas", una para editar (construir la red e introducir los datos) y otra para consultar y analizar los resultados. La parte que realiza los cálculos es el motor de inferencia para propagar las probabilidades por la red bayesiana. Además contiene muchas aplicaciones para construir y analizar redes bayesianas.

El programa permite el trabajo de programación con cuatro lenguajes: C, C++, Java y un servidor ActiveX, por ejemplo Visual Basic. Para utilizar el programa se necesita alguno de los siguientes sistemas operativos: Windows (2000/XP/Vista), Solaris (8, 9 (SPARC), 10 (SPARC, x86/x64)), Linux (Red Hat Enterprise 4 y versiones compatibles) y Mac (OS X v10.4, v10.5). El ordenador debe tener por lo menos 1 GB de memoria RAM.

La fórmula matemática que se utiliza para hacer los cálculos de las probabilidades es el "algoritmo HUGIN" (Jensen *et al.*, 1994), que es una mejora del "Método de agrupamiento" (Lauritzen and Spiegelhalter, 1988).

El programa trabaja a modo de "foto fija", es decir, sin capacidad para introducir la dimensión temporal. En el presente estudio, la red bayesiana se ha diseñado para

trabajar así, pero también se ha trabajado directamente con el equipo de la Universidad de Aalborg para introducir la dimensión temporal.

3.2.2 Incorporación de la información obtenida a dicho sistema

En el apartado "3.4 Método de construcción seguido" se especifican las fases que se han seguido para construir "conceptualmente" la red bayesiana, y para obtener las variables y los datos para construir la red bayesiana en el ordenador, con el programa HUGIN. A continuación se explica cómo se introducen los datos necesarios en el programa, para construir una red bayesiana:

a. Incorporación de las variables más importantes del sistema.

Una vez que se han identificado las variables más relevantes (por ejemplo, mediante la metodología descrita en el apartado 3.4), éstas deben introducirse en el programa informático. El programa representa las variables de la red bayesiana mediante "globos" o "nodos", círculos dentro de los cuales aparece el nombre de la variable. Para introducir nuevas variables el programa tiene una herramienta específica. Utilizándola, el sistema crea un "globo" o nodo, en el que se puede escribir el nombre deseado (Figura 3.7).

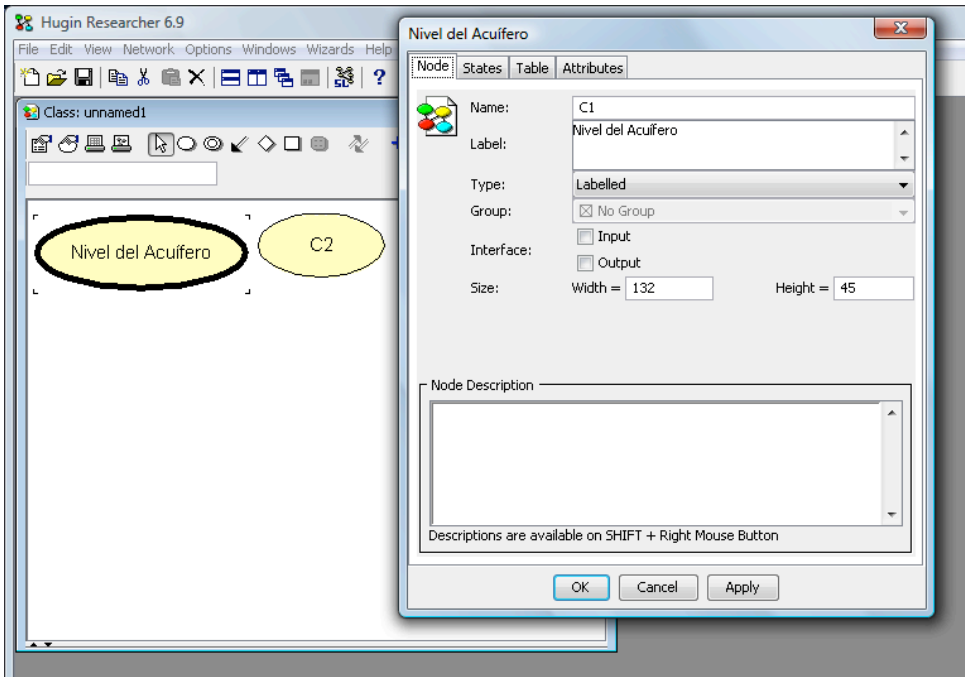


Figura 3.7. Parte visual del programa HUGIN 6.9, en el que aparecen dos variables recién creadas, y la herramienta para introducir el nombre de las variables.

b. Establecimiento de las relaciones entre variables.

Una vez creados varios nodos (por lo menos dos nodos) otra herramienta permite unir dichos nodos mediante flechas. Las flechas tienen un sentido, desde el primer nodo que se selecciona, hacia el segundo nodo. De las variables "padre" salen flechas, y las variables "hija" las reciben (Figura 3.8). Hay que explicar que las variable "hija" pueden ser, a su vez, variables "padre" de las siguientes. La mayor parte de las veces, las

variable finales, de las que no sale ninguna flecha, son las variables "objetivo". De ellas no sale ninguna flecha, y reciben la influencia de todas las variables anteriores.

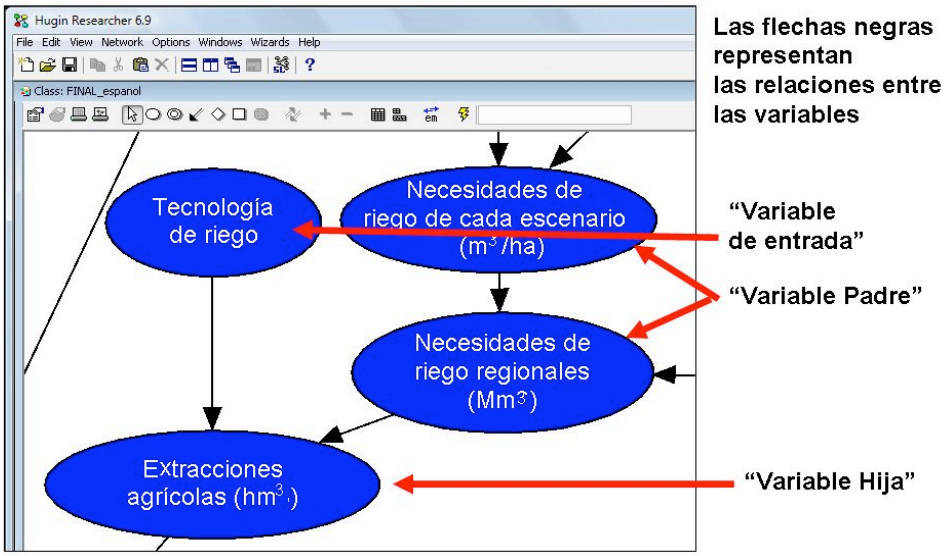


Figura 3.8. Variables y sus relaciones.

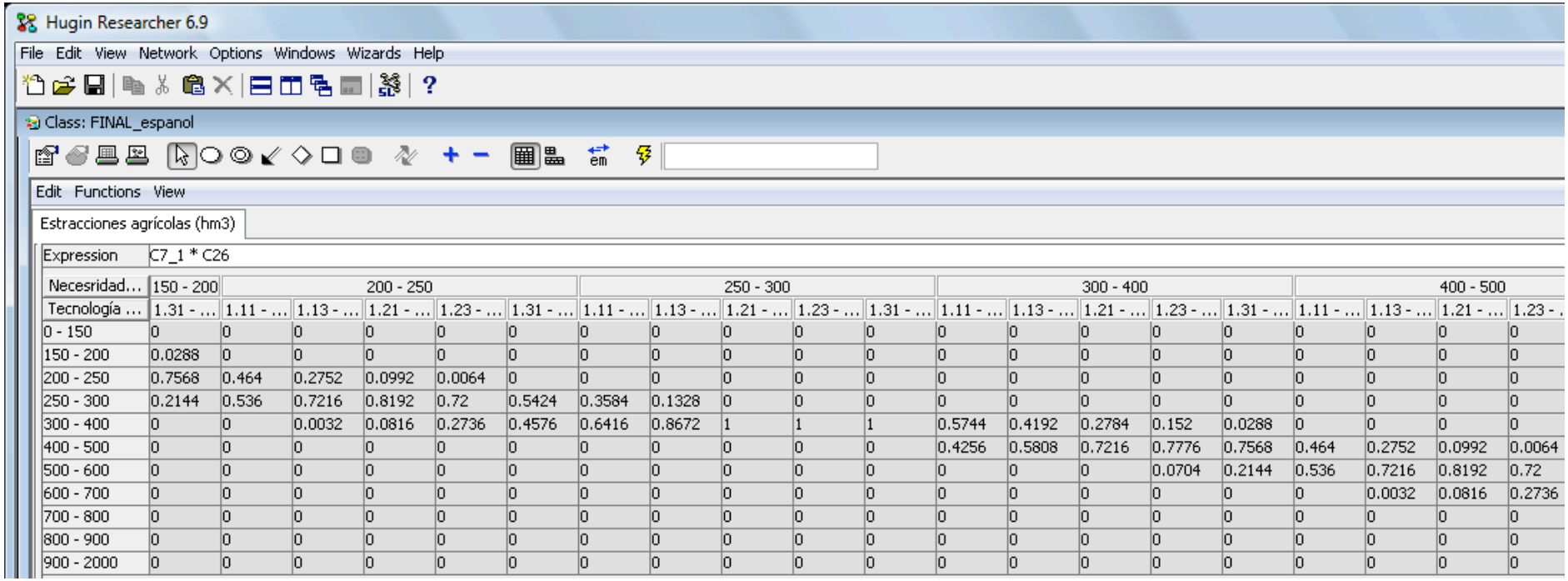
c. Asignación a cada variable de sus estados.

Cada variable tiene una serie de propiedades y características. El siguiente paso es introducir los estados que tiene cada variable. Para ello, lo primero es definir si sus estados están representados en números, en intervalos, con etiquetas o de forma binaria. Las opciones utilizadas en este trabajo han sido las tres primeras, porque no ha sido necesario representar ninguna variable de forma binaria. A continuación, en otra ventana, se pueden introducir los datos con los que se hayan definido previamente los estados de cada variable.

d. Relleno de las tablas de probabilidad condicional (TPCs)

Una vez definidas las probabilidades de cada variable mediante el proceso de participación y el trabajo de búsqueda de datos en gabinete, se puede introducir dicha información en el programa HUGIN 6.9. El programa permite especificar qué tipo de relación une a una variable "hijo" con sus "padres", que puede ser: distribuciones continuas, distribuciones discretas, ecuaciones matemáticas o condicionadas, o definida manualmente de acuerdo a datos u opiniones.

El programa tiene diferentes herramientas para facilitar la construcción de las tablas de probabilidad. Por ejemplo, en Tabla de probabilidad condicional de la variable "Extracciones agrícolas" (Figura 3.9), que depende de dos variables "padre", la tabla de probabilidad se ha rellenado utilizando una expresión matemática (una multiplicación) que relaciona las dos variables "padre", y cuyos resultados son los valores de la variable hija. Dicha expresión está escrita en la segunda fila de la parte superior de la Figura 3.9. Según sean los resultados de multiplicar cada combinación de estados, el programa HUGIN 6.9 asigna las probabilidades a cada estado de la variable hija "Extracciones agrícolas".



Necesridad...	150 - 200	200 - 250					250 - 300					300 - 400					400 - 500			
Tecnología ...	1.31 - ...	1.11 - ...	1.13 - ...	1.21 - ...	1.23 - ...	1.31 - ...	1.11 - ...	1.13 - ...	1.21 - ...	1.23 - ...	1.31 - ...	1.11 - ...	1.13 - ...	1.21 - ...	1.23 - ...	1.31 - ...	1.11 - ...	1.13 - ...	1.21 - ...	1.23 - .
0 - 150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150 - 200	0.0288	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200 - 250	0.7568	0.464	0.2752	0.0992	0.0064	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250 - 300	0.2144	0.536	0.7216	0.8192	0.72	0.5424	0.3584	0.1328	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300 - 400	0	0	0.0032	0.0816	0.2736	0.4576	0.6416	0.8672	1	1	1	0.5744	0.4192	0.2784	0.152	0.0288	0	0	0	0
400 - 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4256	0.5808	0.7216	0.7776	0.7568	0.464	0.2752	0.0992	0.0064
500 - 600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0704	0.2144	0.536	0.7216	0.8192	0.72
600 - 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0032	0.0816	0.2736
700 - 800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
800 - 900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
900 - 2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.9. Vista parcial de la Tabla de probabilidad condicional de la variable "Extracciones agrícolas" (sólo se ha incluido en la imagen una parte para que el tamaño de las letras fuese suficientemente grande).

En la segunda fila de la parte superior está escrita la expresión que indica la multiplicación de la variable "Necesidades de riego regionales" por la variable "Tecnología de riego". Según sean los resultados de multiplicar cada combinación de estados, el programa HUGIN 6.9 asigna las probabilidades a cada estado de la variable hija "Extracciones agrícolas".

3.3. LAS REDES BAYESIANAS: SISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES PARA UNA GESTIÓN INTEGRADA, ADAPTABLE Y PARTICIPATIVA DE LOS RECURSOS NATURALES, TENIENDO EN CUENTA LAS INCERTIDUMBRES

Las redes bayesianas se consideran una buena herramienta para ayudar a gestionar los ecosistemas y los recursos renovables de forma integrada y adaptativa, facilitando la participación pública, y que permite hacer explícitas las incertidumbres existentes en el sistema. A continuación se hace una breve introducción a estos conceptos, y finalmente se justifica dicha afirmación.

3.3.1 Gestión integrada de recursos hídricos

Desde hace años, cada vez está más presente en la agenda política internacional el objetivo de asegurar que todo el mundo tenga acceso a agua sana y en suficiente cantidad. Además la comunidad internacional ha llegado a la conclusión de que los recursos hídricos sólo se pueden utilizar de forma sostenible usando el enfoque de la gestión integrada de recursos hídricos (IWRM, en sus siglas en inglés) (Bromley, 2005). Dicho concepto se basa en los principios de buena gestión del agua, establecidos en un conjunto de encuentros internacionales, como por ejemplo, en la Conferencia del Agua de las Naciones Unidas en el Mar del Plata (1977), en la Conferencia Internacional de Agua y Medio Ambiente en Dublín (1992) y en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro (1992), y que por razones de espacio, no pueden desglosarse aquí.

En términos generales se utilizan los cuatro principios de Dublín (GWP, 2000) para definir el concepto de gestión integrada del agua:

- El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para vida, el desarrollo y el medio ambiente.

- La gestión del agua debe ser participativa, involucrando a los usuarios, planificadores y gestores a todos los niveles.

- Las mujeres juegan un rol central en el suministro, gestión y conservación del agua.

- Todos los usos del agua tiene un valor económico, y por tanto, debe reconocerse como un recuro económico.

La gestión integrada del agua es un enfoque intersectorial que tiene en cuenta al mismo tiempo la gestión del territorio, del agua, y de los recursos relacionados con ella, para maximizar el bienestar socioeconómico de forma justa y sin comprometer su sostenibilidad (GWP, 2000).

La gestión del agua tiene que estudiar a la vez los ecosistemas y las actividades humanas que les afectan, a todas a las escalas. Por eso, recientemente se considera apropiado utilizar el enfoque de sistemas socio-ecológicos (Pahl-Wostl, 2007b).

3.3.2 Adaptación a cambios y gestión adaptativa

La gestión de los ecosistemas y de los recursos naturales, y en concreto, de los recursos hídricos, debe hacer frente a incertidumbres cada vez mayores, debidas al cambio global, al cambio climático y sobre todo a las condiciones socioeconómicas que cambian cada vez con mayor rapidez (Pahl-Wostl, 2007a). Para ello ha surgido un concepto que es la gestión adaptativa o adaptable (Holling, 1978). Pahl-Wostl (2007a) defiende que la gestión integrada de recursos hídricos también debe responder a los cambios y ser capaz de adaptarse a las nuevas condiciones ambientales, sociales y económicas.

La **gestión adaptativa** se puede definir como un proceso sistemático para mejorar continuamente la gestión, que consiste en aprender de los resultados de las medidas de gestión que se van ejecutando (Pahl-Wostl, 2007a). Esta idea se puede resumir en la frase: "aprender a gestionar, gestionando para aprender" (Bormann *et al.*, 1993). La gestión adaptativa activa se puede resumir como: realizar un proceso sistemático de diseño, ejecución y evaluación de diferentes medidas, que permita comparar sus resultados y, de esta forma, mejorar la gestión cambiando las siguientes medidas, adaptándolas según los resultados obtenidos (Gunderson *et al.*, 1995).

Posteriormente, ha surgido el concepto de **capacidad adaptativa**, que es la habilidad de un socio-ecosistema de hacer frente a los cambios sin perder sus características básicas (Folke *et al.*, 2002). El objetivo sería por tanto aumentar la capacidad de todo el sistema para aprender y cambiar según cambie el contexto en el que se encuentre, en lugar de reaccionar ante las consecuencias indeseadas de los cambios (idea representada por la gestión de "mando y control") (Pahl-Wostl *et al.*, 2007).

3.3.3 Participación pública

La participación pública o ciudadana es un proceso de consulta, información y colaboración para permitir que los afectados por una decisión puedan aportar algo a dicha decisión (Smith, 1983, en Rowe and Frewer, 2000).

El objetivo principal de la participación ciudadana es mejorar las decisiones, garantizando que se toman utilizando la experiencia previa, los conocimientos existentes y los resultados científicos, asegurando que las decisiones respondan a las necesidades reales de las personas a las que van a afectar, e intentando que sean aceptadas por las mismas (CE, 2006).

Arnstein (1969) explicó que la participación pública puede dividirse en diferentes niveles, según la influencia de los ciudadanos en las decisiones finalmente tomadas, que se pueden resumir en los siguientes: información, consulta, colaboración activa y control ciudadano.

Tanto la gestión integrada como la gestión adaptativa, consideran fundamental la participación de los actores interesados y de la gente en general, en la planificación y gestión de recursos naturales.

La Directiva Marco del Agua (DOCE, 2000) pone también de manifiesto el interés y la relevancia de los procesos de participación pública. Concretamente, el artículo 14 de la Directiva Marco del Agua, establece que los países de la Unión Europea deben realizar

un proceso de consulta pública durante la elaboración, revisión y actualización de los planes de gestión de cuencas hidrográficas. La Directiva Marco del Agua obliga a la información y a la consulta, y al fomento de la colaboración activa (DOCE, 2000).

3.3.4 Incertidumbres

Una dificultad fundamental en la gestión de socio-ecosistemas y de recursos naturales es que su complejidad intrínseca provoca grandes incertidumbres. Desde el punto de vista de la persona que está estudiando un sistema (y no desde el punto de vista del gestor o político) la incertidumbre se puede definir como la falta del conocimiento determinista completo ideal de un sistema (Walker *et al.*, 2003). La naturaleza de las incertidumbres puede ser ontológica, es decir, debida a la variabilidad propia del sistema, o epistemológica, es decir, debida al conocimiento imperfecto del sistema (Walker *et al.*, 2003). Una diferencia fundamental entre ellas es que la incertidumbre epistemológica, en principio se puede reducir, pero la ontológica no (Van der Keur *et al.*, 2008).

Identificar el origen de la incertidumbre es necesario para el desarrollo de una gestión adaptativa e integrada de los recursos hídricos, y permite buscar herramientas para gestionar dicha incertidumbre (Van der Keur *et al.*, 2008). La incertidumbre puede tener diferentes orígenes (Walker *et al.*, 2003; Dewulf *et al.*, 2005; Van der Keur *et al.*, 2008):

a) el contexto natural, tecnológico, económico, social o político, como las condiciones legales y socioculturales que enmarcar el sistema, los impactos de la economía en el futuro, etc.

b) la propia estructura o naturaleza del modelo, por un conocimiento o entendimiento incompleto de cómo funciona el sistema.

c) la información utilizada, los datos.

d) la existencia de diferentes modelos conceptuales o visiones entre las partes involucradas en el problema, que puede hacer difícil definir los problemas principales y los objetivos que deben perseguirse.

Como puede entenderse, las mayores incertidumbres en la gestión de recursos hídricos están relacionadas con los sistemas físicos, el clima, la socioeconomía y la política (Van der Keur *et al.*, 2008).

3.3.5 Herramienta de ayuda a la toma de decisiones

Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones ayudan a los gestores a resolver problemas que están poco o insuficientemente estructurados (Guariso y Werthner 1989, en McCartney *et al.*, 2005). Además, existen otras definiciones de sistema de apoyo a la toma de decisiones en las que se especifica que son herramientas informáticas, como las definiciones de Reitsma *et al.* (1996), Kersten (1999) o la más extendida y aceptada de Loucks *et al.* (1991): "herramientas basadas en programas informáticos que tienen características interactivas, gráficas y de modelización para

analizar problemas concretos y para ayudar a estudiar y a buscar una solución para los problemas de gestión".

3.3.6 Las redes bayesianas: sistema de apoyo a la toma de decisiones para una gestión integrada, adaptable y participativa de los recursos naturales, teniendo en cuenta las incertidumbres

Las redes bayesianas se pueden considerar una **herramienta de ayuda a la toma de decisiones**, que utiliza relaciones de probabilidad, ya que ayuda a estructurar y ordenar los diferentes factores que intervienen en el problema estudiado. Además comparte las características expuestas por Louks *et al*. (1991).

Las redes bayesianas permiten una **gestión integrada** del agua:

a. Permiten la integración de diferentes disciplinas, combinando en un mismo sistema datos económicos, sociales y físicos.

b. Sirven para analizar sistemas complejos, que se pueden estructurar en variables y sus relaciones.

c. Explicitan las incertidumbres a través de las probabilidades.

d. Se pueden utilizar como método participativo, que también es un requisito de la gestión integrada.

Las redes bayesianas también pueden utilizarse como herramienta para una **gestión adaptativa**:

a. La característica que las hace más útiles para una gestión adaptativa es que, una vez construida una red bayesiana, se puede modificar fácilmente para adaptarse a nuevas situaciones o descubrimientos. Es decir, se pueden introducir nuevas variables, sin tener que construir un modelo nuevo, y sobre todo, se pueden añadir datos nuevos de variables existentes, para mejorar la definición de sus probabilidades.

b. Además, son útiles para la evaluación y el seguimiento de actuaciones. Como se establecen unos objetivos concretos, éstos pueden utilizarse como indicadores de la gestión. Además, como se puede especificar el estado de las variables objetivo en un momento concreto, es fácil compararlas en situaciones futuras.

c. Otra característica útil para la gestión adaptativa es que pueden representar escenarios futuros de gestión. De esta forma se puede conocer con antelación una aproximación a las consecuencias de las actuaciones evaluadas, iniciando el proceso de "aprender gestionando".

Facilitan la **participación pública** por las siguientes razones:

a. Se pueden elaborar con la participación de los grupos de interés.

b. Sirven para organizar y estructurar un proceso de participación.

c. Favorecen el dialogo entre las partes interesadas, porque cuantifican las consecuencias de diferentes decisiones posibles y, de esta forma, el diálogo se hace sobre bases objetivas.

d. Permiten fijar el objetivo final de las actuaciones y analizar los elementos que influyen sobre la consecución del objetivo.

e. Su parte visual facilita la comprensión del sistema, y permite que las discusiones se hagan sobre elementos concretos: las variables y sus relaciones.

f. La cuantificación de las variables permite profundizar en el conocimiento del sistema y hablar de datos y valores.

Son apropiadas para trabajar en situaciones con altas **incertidumbres**, porque las variables se expresan en forma de probabilidad. Cuando una variable tiene un alto grado de incertidumbre, porque no se conoce exactamente sus valores reales, se puede introducir en la red bayesiana, simplemente introduciendo unos valores amplios y asignando probabilidades poco definidas. En cambio, las variables que se conocen con precisión, pueden introducirse con probabilidades muy definidas. Dependiendo de la incertidumbre de los datos introducidos, los resultados también contendrán mayor o menor incertidumbre. Además sirve para identificar vacíos de conocimiento.

Como conclusión, se puede decir que es razonable considerar a las redes bayesianas una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, cuyas características permiten analizar los problemas con un enfoque integrador, adaptable y participativo, teniendo en cuenta las incertidumbres.

3.4. ESTUDIOS ANTERIORES

Las redes bayesianas se conocen desde hace mucho tiempo en estadística, pero han comenzado a aplicarse como herramienta de ayuda a la toma de decisiones a partir del desarrollo de la informática (Pearl, 1986; y Spiegelhalter y Knill-Jones, 1984), que permite hacer los cálculos de forma mucho más rápida (Jensen and Nielsen, 2007). Con las nuevas herramientas informáticas, las redes bayesianas comenzaron a desarrollarse en los campos de la inteligencia artificial (Pearl, 1988) y posteriormente, han sido ampliamente utilizadas en medicina y en otras disciplinas. Entre los casos más reseñables, pueden citarse el diagnóstico de enfermedades (Dagum and Galper, 1993; Spiegelhalter *et al*., 1993), la evaluación de evidencias científicas (Heckerman, 1997; Yu *et al*., 1999), el análisis de mercados (Rossi & Allenby, 1993), y el análisis en ciencias del lenguaje (De Campos Ibáñez *et al.,* 2001).

3.4.1 Redes bayesianas y gestión de ecosistemas y recursos naturales

La utilización de redes bayesianas para analizar sistemas complejos, como los ecosistemas, para analizar la gestión de recursos naturales comenzó más tarde. Uno de los primeros trabajos publicados fue Haas (1991), quién utilizó las redes bayesianas para predecir la densidad de yemas que producía un álamo como respuesta a

diferentes opciones de gestión. El estudio destacó la flexibilidad de las redes bayesianas para representar los conocimientos sobre un determinado problema, frente a otros sistemas de expertos, que tienen reglas más rígidas. Varis junto con otros autores realizó durante la década de 1990-2000 numerosos trabajos y publicaciones utilizando redes bayesianas para el estudio de problemas de gestión de recursos naturales, especialmente de la gestión de recursos pesqueros (Varis and Kuikka, 1997b; Kuikka *et al*., 1999; Varis and Kuikka, 1999), pero también a otros recursos naturales (Varis, Kettunen and Sirvio, 1990; Varis *et al*., 1993; Varis, 1995; Kuikka and Varis, 1997; Varis, 1997; Varis and Kuikka, 1997a; Varis, 1998). Por ejemplo, en Varis and Kuikka (1997a) utilizaron una red bayesiana para hacer los cálculos de una matriz para evaluar los impactos del cambio climático sobre las aguas superficiales. En Varis (1997) se hace una breve descripción de los diferentes tipos de redes bayesianas, según varios descriptores y atributos (objetivos, unidades, fuente de los datos, etc). Estos trabajos no incorporaban la participación de las partes interesadas en el proceso de construcción, aunque en algunos si utilizaron como fuente de datos la opinión de expertos. Por ejemplo, Uusitalo, Kuikka y Romakkaniemi (2005) construyeron una red bayesiana utilizando únicamente la opinión de expertos, que pretendía representar el pensamiento experto, y no tanto representar el sistema de la forma más cercana a la realidad posible. En ella, cada uno de los cinco expertos consultados introdujo las probabilidades que cada uno estimaba más acertadas. La comparación de dichas probabilidades demostró que las opiniones diferían mucho, y todas ellas eran más optimistas que modelos matemáticos anteriores.

Hay otros muchos estudios científicos con redes bayesianas sobre ecología y recursos naturales, la mayoría de ellos sin participación pública. El grupo de Cain y Bacon realizaron una serie de publicaciones sobre estudios con redes bayesianas de la gestión de usos del suelo. Por ejemplo, en Bacon, Cain and Howard (2002) construyeron una red bayesiana (sin participación pública) para estudiar diferentes opciones de cambios de uso del suelo, sus consecuencias y los cambios más probables, ligándolo con un sistema de información geográfica.

Otros muchos autores las han utilizado más recientemente. A continuación se explican algunos de los más destacados. Schnute *et al*. (2000) usaron redes bayesianas para establecer objetivos de gestión del salmón (*Oncorhynchus nerka*) en el río Fraser. Lee (2000) las utilizó para estudiar los efectos que los usos del suelo tienen sobre las truchas (*Salvelinus confluentus*). Rowland *et al*. (2003) usaron redes bayesianas para modelizar el uso del territorio del glotón (*Gulo gulo*) en el interior de Estados Unidos. Pollino y White (2005) aplicaron redes bayesianas a la gestión de un espacio protegido con eucaliptos amenazados por la contaminación del suelo por la agricultura. En este caso, las redes bayesianas permitieron conceptualizar el problema, integrar procesos complejos en un mismo sistema y agregar datos y estudios de temas muy distintos. Además, el modelo final respondió mejor que otros anteriores en la validación. Marcot (2006) las utilizó para predecir el hábitat de plantas raras en el norte de Estados Unidos. Newton *et al*. (2006) para predecir los impactos que la comercialización de productos forestales no maderables tiene sobre cinco tipos de capitales necesarios para la vida de sus habitantes (capital natural, humano, social, físico y financiero). Smith *et al*. (2007) utilizaron el conocimiento de expertos y datos empíricos para construir una red bayesiana que unieron a un sistema de información geográfica para estudiar la recuperación de fauna amenazada. Y todavía hay más ejemplos, como son los de Lagos y Castilla (1997), Lehmkuhl *et al*. (2001), Marcot *et al*. (2001), Raphael *et al*. (2001), Rieman *et al*. (2001), Cain *et al*. (2003), Reckhow (2003) y Martin *et al*. (2005). Otro conjunto de trabajos está dedicado a la gestión y conservación forestal,

como el mencionado de Newton *et al*. 2006, y también los trabajos de Ellison (1996), Crome *et al*. (1996), Gertner y Zhu (1996) y Ghazoul y McAllister (2003).

3.4.2 Redes bayesianas y gestión de cuencas hidrográficas

Específicamente sobre gestión de recursos hídricos también hay un conjunto de trabajos que han utilizado y explorado el funcionamiento de las redes bayesianas: Chong y Walley (1996) estudiaron un sistema de aguas residuales, y Soncini-Sessa, Castelletti y Weber (2003) utilizaron las redes bayesianas para la evaluación del impacto ambiental de embalses.

Durante estos últimos años (desde 1999) ha aparecido un amplio conjunto de trabajos estudiando cuencas hidrográficas con redes bayesianas, como por ejemplo, los que se comentan a continuación. Este crecimiento puede deberse a que la complejidad del funcionamiento de las cuencas hidrográficas y la coincidencia de múltiples disciplinas en su gestión, hacen de las redes bayesianas una herramienta muy útil para su análisis. Batchelor y Cain (1999), en una de las primeras aplicaciones a la gestión de una cuenca hidrográfica, destacaron la capacidad que tienen las redes bayesianas para organizar y analizar datos interdisciplinares en un marco conceptual matemático. Las redes bayesianas que construyeron eran simples, contando con datos de campo y con opiniones de expertos, y asumían que los resultados tenían ciertas limitaciones en cuanto a predicciones de futuro exactas. Sadoddin *et al*. (2005) evaluaron las consecuencias de varias medidas de gestión enfocadas a reducir la salinidad del suelo en una cuenca hidrográfica y su efecto sobre la biodiversidad. Uno de los datos que utilizaron eran indicadores de la diversidad y conectividad del paisaje. Said *et al*. (2005) y Said (2006) las usaron para evaluar los usos físicos y económicos del agua en una cuenca hidrográfica de EEUU, y Saravanan (2008) para estudiar las complejas relaciones de las instituciones que intervienen en la gestión del agua.

3.4.3 Redes bayesianas y participación pública

Cain *et al*. (1999) fueron de los primeros que combinaron las redes bayesianas con participación social para la gestión de recursos naturales. Los autores destacaron la importancia de asegurar que las partes interesadas participen en la identificación de las variables más importantes del problema o sistema. También mostraron que las redes bayesianas se pueden usar con datos locales de una forma flexible. El equipo del profesor Borsuk también fue de los primeros que utilizaron redes bayesianas de forma participativa desde el año 2000 (Borsuk *et al*., 2001b). Ellos no organizaron un proceso de participación con objeto de construir una red bayesiana, si no que realizaron reuniones y entrevistas con las partes interesadas, para recoger en la red bayesiana las preocupaciones de los afectados por el problema. Los propios participantes propusieron que en futuras ocasiones las partes interesadas tuvieran un papel más activo en la construcción de las redes. Posteriormente, el equipo de Borsuk también ha publicado trabajos con redes bayesianas sobre problemas ambientales y gestión de recursos naturales, tanto contando con las opiniones de expertos (Borsuk, 2004) como estudios sin explicar el proceso participativo de su construcción (Borsuk *et al*., 2001a; Borsuk *et al*., 2004; Borsuk *et al*., 2006). Pollino *et al*. (2007) estudiaron los riesgos ecológicos en una pesquería. Diseñaron una metodología específica para cuantificar y verificar de forma objetiva y exhaustiva los datos introducidos en una red bayesiana por expertos. Con dicha metodología intentaban contribuir a conseguir que la

introducción de opiniones se haga de forma más objetiva y rigurosa, que las redes construidas sean más útiles, y que se conozcan mejor sus limitaciones.

Posteriormente, las redes bayesianas se han utilizado extensamente contando con la participación de las partes interesadas, como medio para conseguir mejores resultados o como herramienta de participación en sí misma. Por ejemplo, Lynam *et al*. (2002) usaron las redes bayesianas en un proyecto de participación pública sobre gestión de usos del suelo, en Zimbabwe. Los participantes en la construcción de la red bayesiana reconocieron que sus resultados no eran necesariamente correctos, pero si que eran útiles. En este sentido, comprobaron que más que la red bayesiana en sí, los resultados más importantes provenían del propio proceso de construcción de la red. Por ejemplo, un resultado importante fue construir una representación común del sistema, aceptada por todas las partes del conflicto. En Bacon *et al*. (2002) se presentan los resultados de un estudio sobre diferentes opciones de ordenar los usos del suelo, teniendo en cuenta los intereses de las partes interesadas en el problema. En dicho estudio también realizaron reuniones con representantes de distintos grupos de interés. Identificaron como una limitación, no poder hacer más reuniones para evaluar de forma iterativa las redes bayesianas construidas. Obtuvieron varias conclusiones parecidas a las obtenidas en el presente trabajo (páginas 233-235), que no adelantaremos aquí, por tratarlas específicamente en el Capítulo 4, "Proceso de participación con las partes interesadas".

Después de su experiencia de investigación, Cain (2001) publicó una guía para utilizar las redes bayesianas de forma participativa. Otros artículos sobre redes bayesianas y participación pública se comentan en el Capítulo 4, "Proceso de participación con las partes interesadas".

3.4.4 Redes bayesianas y gestión integrada de recursos hídricos

Finalmente, las redes bayesianas se han considerado una herramienta apropiada para conseguir una gestión integrada del agua (Bromley *et al*., 2002; Henriksen *et al*., 2008). La investigación más completa sobre la posible ayuda que las redes bayesianas pueden proporcionar en la planificación integrada de recursos hídricos se llevó a cabo en el proyecto europeo MERIT, durante los años 2001 a 2004. En él, se construyeron redes bayesianas de forma más o menos participativa, en cuatro casos de estudio de cuatro países europeos (Inglaterra, Dinamarca, Italia y España). Como resultado se publicaron varios artículos científicos, y una guía para construir redes bayesianas de forma participativa y según los principios de la gestión integrada del agua (Bromley, 2005). Esta guía fue la que se siguió inicialmente en la construcción de la red bayesiana del presente trabajo. La presente tesis doctoral ha sido una de las primeras experiencias en las que se ha utilizado la guía de forma práctica. Una vez utilizada y completado el trabajo, la evaluación de la guía es muy positiva. Permite construir redes bayesianas de forma rápida sin tener conocimientos previos de la metodología. Contiene ejemplos que ilustran las recomendaciones que se dan. El método de construcción propuesto es claro, fácilmente reproducible, y adaptable a las características propias de cada caso concreto. Los consejos para conseguir una apropiada participación de las partes interesadas también son muy útiles.

Entre los artículos publicados como resultado de este proyecto destacan Bromley *et al*. (2005), en el que se describe cómo se construyó una red bayesiana con la participación de los principales interesados en reducir el consumo y las pérdidas de

agua en el caso de estudio en Inglaterra (cuenca del río Loddon). En dicho artículo se resaltan las ventajas de las redes bayesianas como herramienta de gestión integrada. Se diseñó una red bayesiana para evaluar las consecuencias de cuatro medidas distintas para reducir el consumo de agua en una zona urbana. La conclusión más significativa con respecto a trabajos anteriores fue la importancia del proceso de participación, por la gran aceptación y satisfacción de los participantes. También señalan que las redes bayesianas pueden no ser la mejor herramienta posible en problemas que se restrinjan a un solo área de conocimiento, o para la gestión diaria de recursos hídricos.

Los otros tres trabajos realizados en el proyecto Merit se describen a continuación.

En Henriksen *et al*. (2004a y 2004b) se describe con detalle el proceso de participación con el que se construyó una red bayesiana para evaluar diferentes medidas para reducir la contaminación de un acuífero. Es de los pocos trabajos en los que se describe el proceso de participación. El proceso de participación se realizó con dos grupos (uno formado por profesionales en la gestión de agua, y otro por ciudadanos interesados en el tema) a lo largo de varias reuniones y entrevistas. En Henriksen *et al*. (2007b) se hace una breve evaluación del proceso de participación. Un año después de realizar el proceso de participación, realizaron otra evaluación mediante una entrevista abierta a dos de los participantes (Henriksen and Barlebo, 2008). Este trabajo es el único que se ha encontrado en el que se evalúe con criterios científicos un proceso de participación con redes bayesianas, y es comentado en el capítulo 4, "Proceso de participación con las partes interesadas".

Posteriormente, Henriksen *et al*. (2007a), usaron redes bayesianas sin participación pública para evaluar diferentes medidas para reducir la contaminación de acuíferos por pesticidas. La red bayesiana les permitió integrar los resultados de dos modelos, uno hidrológico y otro económico, y estudiar las relaciones entre ambos, que de otra forma, se habrían mantenido independientes. Así, consiguieron construir un nuevo marco conceptual con el que estudiar el problema, lo que sirvió para descubrir nuevas soluciones.

En 2007 Henriksen, Rasmussen, Bromley, de la Hera y Llamas (2007c) publicaron un artículo de divulgación, en el que se presentaba la idea de construir redes bayesianas en el Alto Guadiana. Argumentaban las características que tienen las redes bayesianas como herramienta para la investigación integrada y participativa. También se aportan datos iniciales sobre las consecuencias de diferentes medidas de gestión en el Alto Guadiana: compra de derechos de agua, aplicación de la ley, subsidios agrarios y planes de gestión del agua, de cada explotación. Posteriormente, dicho grupo de investigación, junto al equipo de la UPM y el autor de la tesis, presentaron otro artículo en el congreso internacional CAIWA (Basilea, Suiza), en Noviembre de 2007 (Zorrilla *et al*., 2007), en el que se presentaron los primeros pasos de la construcción de dos redes bayesianas y las primeras etapas del proceso de participación (Figura 3.10).

Figura 3.10. Autor de la tesis presentado el trabajo Zorrilla *et al*. (2007) en el Congreso internacional CAIWA (*International Conference on Adaptive and Integrative Water Management*) en Basilea (Suiza), en Noviembre de 2007.

Castelletti y Soncini-Sessa (2007a y 2007b) proponen una metodología para planificar la gestión de recursos hídricos de forma integrada y participativa, que tiene como herramienta principal las redes bayesianas. En el primer trabajo, se explica la metodología; y en el segundo, se exponen los resultados obtenidos de un caso de estudio concreto. La metodología propone una forma ordenada y coherente de construir y plantear alternativas de gestión, y fomenta la participación de las partes interesadas desde el primer momento. En su caso de estudio, dicha participación se realizó por medio de entrevistas, para que las partes interesadas definieran los criterios e indicadores de evaluación, aunque no se explica bien el proceso de participación. Ante la dificultad de completar las tablas de probabilidad condicional con las partes interesadas, decidieron integrar la opinión de los participantes en el funcionamiento de un modelo matemático más amplio, dentro del que se insertaba una red bayesiana que, al final, fue más reducida de lo inicialmente planeado. En otro artículo, los mismos autores proponen integrar su metodología con una herramienta para evaluar soluciones multi-objetivo (Castelletti *et al*., 2008).

El último de los casos de estudio del proyecto MERIT (para información sobre este proyecto, ver primer párrafo de este apartado) fue en España, en la Unidad Hidrogeológica Mancha Oriental (Domínguez, 2004). Desde el marco de la gestión integrada, se analizaron las consecuencias de diferentes medidas para gestionar dicho acuífero. Este caso de estudio tiene grandes similitudes con la cuenca alta del Guadiana, en cuanto que es una región árida en la que la mayor parte de los consumos de agua proviene de aguas subterráneas; los principales usuarios son los agricultores, y, como consecuencia de la explotación intensiva de los recursos hídricos, el nivel piezométrico ha descendido considerablemente durante las últimas décadas. Por tanto, es interesante explicar en profundidad algunos detalles de este trabajo y las principales diferencias con la presente red bayesiana.

La participación pública se limitó a integrar la opinión que los usuarios y expertos seleccionados plasmaron en un cuestionario, elaborado *ex profeso* para construir la red

bayesiana (Martín de Santa Olalla, Domínguez, *et al.*, 2005). Posteriormente se realizaron dos reuniones con determinados gestores y representantes de la Junta Central de Regantes para evaluar la red, pero en los trabajos publicados no se describe cómo realizaron dichas reuniones.

Según estos autores, una de las medidas más importantes que se tuvieron en cuenta en la red bayesiana para evitar el descenso del nivel piezométrico, era sustituir la extracción de agua subterránea con el uso de agua superficial, de acuerdo con lo que establecía el Plan Hidrológico del Júcar (Martín de Santa Olalla, Domínguez, *et al.*, 2007). El volumen a sustituir llegaría a ser de un cuarto del agua extraída (100 hm^3 de los más de 400 hm^3 que se extraían en el momento del estudio). Aunque esta medida también ha sido evaluada en la red bayesiana presentada en esta tesis, no ha sido considerada central. Además, dicha medida contenía más problemas, como que el precio que tendrían que pagar los agricultores para usarla sería, en algunos casos, mayor al que estarían dispuestos a pagar, lo que les llevaría a seguir usando el agua subterránea.

Una diferencia importante entre la red bayesiana de Domínguez (2004) con la aquí presentada, es que dicha red partía de la idea de que los regantes podrían verse afectados por reducciones de la cantidad de riego disponible, lo que les forzaría a cambiar los cultivos de sus explotaciones. Esta forma de actuar no se da en la Mancha Occidental por dos razones, y a la vez diferencias principales con la Mancha Oriental:

- La mayoría de las explotaciones de la Mancha Oriental son de gran tamaño (más de 100 ha), mientras que entre los regantes del acuífero de la Mancha Occidental hay un amplio número de pequeños regantes. Los agricultores pequeños pueden variar menos sus cultivos, tienen menos elasticidad (Carmona y Varela-Ortega 2007).

- En la mancha Occidental los agricultores no ven limitada el agua que utilizan para los riegos. Esto se debe a varios factores. Entre ellos, los dos principales son los siguientes:

    - Uno de ellos, es que hay un número importante de regantes sin derechos de riego
    - Otro, es que muchos de los que tienen derechos de riego, riegan por encima de las cuotas fijadas por la Confederación Hidrográfica.

En resumen, hasta ahora no ha habido forma de controlar las extracciones que realizan los agricultores de la Mancha Occidental. Esto hace que sus planes de cultivo no se vean, en general, muy condicionados por el agua disponible legalmente.

Otra diferencia importante es la escala utilizada, ya que en la presente tesis se han utilizado datos regionales y en Domínguez (2004) se partía del comportamiento de los agricultores individualmente para, posteriormente, agregarlos a escala regional.

Otra diferencia importante que se comentan más adelante en el capítulo 4, "Proceso de participación con las partes interesadas", es el proceso de participación seguido en el presente trabajo, mucho más completo, y con una evaluación científica.

En este trabajo, a diferencia del comentado de la Mancha Oriental, se ha dado mucha mayor importancia a la recuperación futura del acuífero, de acuerdo a la exigencia de

la Directiva Marco del Agua (DOCE, 2000), de asegurar el buen estado cuantitativo de los recursos hídricos. Una última diferencia, es que en la presente red bayesiana se han tenido en cuenta posibles escenarios agrícolas que han permitido estudiar aspectos importantes del problema de la gestión de los recursos hídricos. La gestión del agua en el acuífero de la Mancha Occidental está muy influenciada por los mercados agrícolas y por las políticas y ayudas agrarias, que pueden fomentar o desincentivar cultivos que consuman mucha agua, o por el contrario, que consuman poca.

Otros casos, además de los comentados (que formaron parte del proyecto MERIT (Bromley, 2005)), en los que se han utilizado las redes bayesianas para una gestión integrada del agua son Janakarajan (2004) y la tesis doctoral de Daniel P. Ames. Ames (2002) construyó tres redes bayesianas para estudiar problemas de gestión de cuencas hidrográficas siguiendo los principios de la gestión integrada y adaptable. Construyó una red bayesiana para la gestión del caudal del río Colorado, otra para estudiar cómo reducir la contaminación orgánica en un río, y una tercera, para controlar la contaminación por fósforo en un arroyo en Estados Unidos (Ames *et al*., 2005). Sin embargo, no construyó las redes de forma participativa, y sólo indica que las redes construidas pueden ser útiles para las partes interesadas cuando se les comuniquen los resultados. El mismo autor, complementariamente, construyó un programa informático que permite usar un sistema de apoyo a la toma de decisiones a través de Internet (Ames and Neilson, 2001). Tenía el objetivo de que los propios interesados construyesen su propio sistema o contribuyesen con sus datos a construir otro sistema entre mucha gente. Sin embargo, una vez construido el programa, se comprobó que sería más útil para proporcionar a los ciudadanos la información y los resultados de estudios que se hagan con redes bayesianas.

En Australia también hay un grupo de investigación que ha utilizado redes bayesianas para la gestión integrada y participativa del agua. Dicho grupo (Ticehurst *et al*., 2005 y Croke *et al*., 2007) evaluó los impactos sociales, económicos y ecológicos de diferentes medidas de gestión que se podían tomar para gestionar de forma más sostenible las cuencas de ocho lagos costeros. Construyeron la red bayesiana de forma participativa, aunque tampoco se ha publicado una explicación de cómo se hizo el proceso participativo ni la evaluación de su uso (Ticehurst *et al*., 2007).

Más recientemente, Barton *et al*. (2008) realizaron un análisis coste-eficacia de medidas para reducir la eutrofización de una cuenca hidrográfica en Noruega, siguiendo con la tendencia de utilizar las redes bayesianas en el marco de la gestión integrada del agua. Farmani *et al*. (2009) combinaron redes bayesianas y un método que permite optimizar distintas decisiones, llamado *evolutionary multi-objective optimization*. Los autores comprobaron que es una buena herramienta para validar las redes bayesianas y para proporcionar una visión más amplia de las soluciones posibles.

Inman (2008) construyó una red bayesiana para estudiar la gestión de la demanda de agua en el río Iskar, en Bulgaria, utilizando también el marco de la gestión integrada. Su contribución principal es una evaluación de la utilidad de dicha red bayesiana para facilitar la gestión de agua, hecha por técnicos, gestores y planificadores de gestión del agua en Bulgaria. La red bayesiana se construyó sin proceso de participación, aunque si contó con la opinión de gestores, obtenida a través de entrevistas, para diseñar la estructura de la red. Su trabajo puede considerarse otra forma de utilizar las redes bayesianas como herramienta de participación: construyendo una red bayesiana previamente, y haciendo una reunión para mostrar cómo funciona, qué datos usa y sus

resultados, y hacer posteriormente una evaluación. En la evaluación de la red bayesiana se valoró positivamente la transparencia de datos que proporciona, y la utilidad técnica para gestionar el agua de forma integrada.

La construcción de la presente red bayesiana se ha realizado de forma paralela con otra red bayesiana en el mismo área de estudio, pero con otra finalidad, realizada por otro grupo de investigación del proyecto Newater dirigido por Consuelo Varela, y con gran colaboración entre ambos. La otra red bayesiana (Carmona y Varela-Ortega, 2007; Carmona, 2008) ha estudiado también la gestión del agua en el acuífero de la mancha Occidental, pero con notables diferencias respecto a la presente red bayesiana.

1. Una de ellas es la **escala de estudio**, ya que en dicho trabajo se analiza el comportamiento de los agricultores individuales, así como las consecuencias de las diferentes medidas de gestión sobre la renta de las explotaciones agrarias individualmente. En cambio, en la presente red bayesiana se ha analizado el comportamiento del conjunto de los agricultores ante las diferentes actuaciones, así como sus consecuencias sobre la producción económica regional del regadío, y sobre el número de empleos directos del regadío en la región.

2. Otra diferencia, es que la principal contribución metodológica de la red bayesiana de Carmona y Varela-Ortega (2007) es la unión de una red bayesiana con un modelo agro-económico. La principal aportación metodológica de la presente red bayesiana es la **construcción y evaluación de una red bayesiana dinámica**. Precisamente, uno de los últimos avances consiste en construir redes bayesianas dinámicas, que permitan analizar los sistemas a lo largo del tiempo. Shihab (2005) construyó redes bayesianas dinámicas utilizando una metodología similar a la que se ha ensayado en este trabajo. En el capítulo 7, "Red bayesiana dinámica", se profundiza en los trabajos que han avanzado en este campo todavía poco explorado.

3.5 MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN

En los siguientes apartados se explica cómo se ha construido la red bayesiana de la Mancha Occidental, detallando cada fase.

El método ha pretendido seguir el modelo propuesto en Bromley (2005), que consta de siete etapas (Figura 3.11). En cada una de ellas se propone la participación de las partes interesadas, que para un mayor éxito debe comenzar lo antes posible (desde la primera fase). Además, desde la fase 3 hasta la 7, éstas pueden repetirse de forma iterativa, en un proceso de evaluación que puede realizarse tantas veces como se quiera.

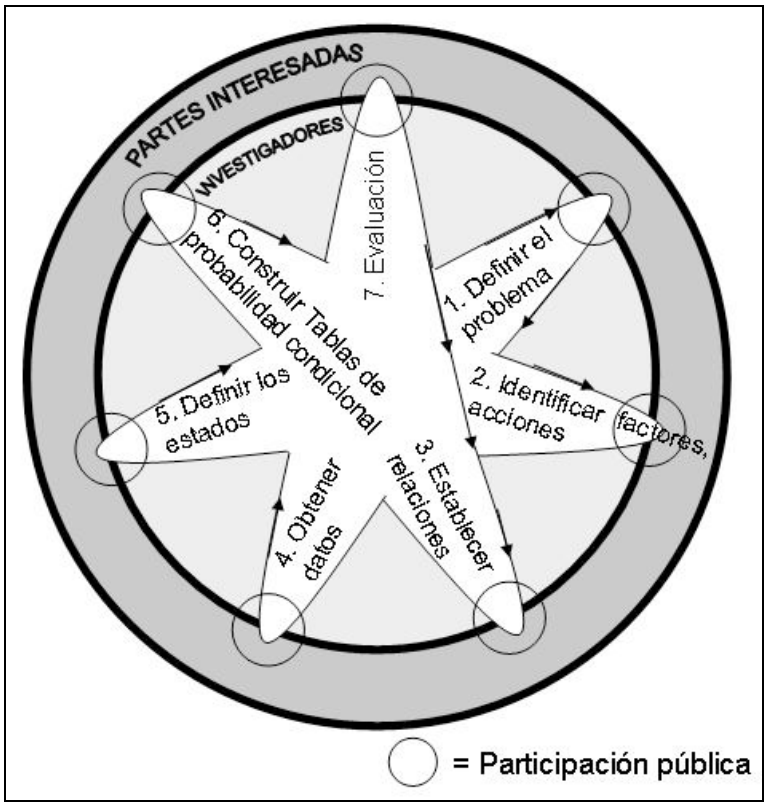


Figura 3.11. Fases para la construcción de redes bayesianas, propuestas en Bromley 2005, en la que el trabajo de los investigadores se entrelaza con la participación de las partes interesadas en el problema estudiado.

Como se explica en Bromley 2005, no hay una única manera de construir exitosamente una red bayesiana. Los objetivos de la red bayesiana, así como los factores que rodean a su construcción (el tiempo y los recursos disponibles, el número y tipo de actores involucrados, factores socioculturales, etc), hacen que en cada ocasión la construcción sea diferente. Y eso es precisamente lo que ha ocurrido al construir la presente red bayesiana. Se han seguido las recomendaciones de Bromley 2005. Su aplicación en la práctica se ha adaptado a las circunstancias del caso de estudio y del proyecto de investigación.

Las redes bayesianas construidas a lo largo de este proceso se presentan en las Figuras 4.5 a 4.12, del siguiente capítulo 4, "Proceso de participación con las partes interesadas".

3.5.1 FASE 1. Definición del problema y selección del enfoque apropiado

Lo primero que hay que hacer es tener claros los objetivos de las intervenciones que se van a evaluar con la red bayesiana. Esta tarea se puede dividir en dos fases. La primera es definir las variables objetivo, sobre las que se quiere impactar. Previamente a la construcción de la red bayesiana, el proyecto NeWater había realizado un proceso de participación con las partes interesadas en la gestión del acuífero de la Mancha Occidental. Este proceso sirvió para conocer cuáles eran las principales preocupaciones de los actores interesados, lo que permitió definir el problema y los objetivos principales de acuerdo a sus preocupaciones e intereses. En este caso, el objetivo se

definió como conseguir el buen estado cuantitativo del acuífero manteniendo unas buenas condiciones socioeconómicas en la región.

También hay que definir los límites físicos, sociales y económicos del sistema estudiado, y la escala de tiempo utilizada. Estas características también se explican en el capítulo 5, "La red bayesiana diseñada para el acuífero de la Mancha Occidental".

3.5.2 FASE 2 + FASE 3. Identificar los factores, las acciones y los indicadores + Establecer las relaciones entre las variables

Las dos siguientes fases consisten en:

Fase 2: Identificar los factores más importantes que afectan al sistema, las acciones que se podrían emplear para resolver los problemas, y los indicadores que servirán para evaluar las ventajas de cada acción y sus efectos en el sistema.

Fase 3: Establecer las relaciones entre las variables identificadas en la fase 2.

En el caso de la presente red bayesiana, estas dos fases se realizaron prácticamente al mismo tiempo, porque se iban identificando las variables y, a la vez, se iban relacionando unas con otras. Este proceso finalizó con la construcción de un esquema en el que aparecen todas las variables relacionadas mediante flechas: el primer borrador de la red bayesiana.

El objetivo de la red bayesiana fue introducido en dicho borrador mediante tres variables objetivo que respondían a conseguir la recuperación del acuífero, mantener la mayor cantidad posible del dinero que entra a la región por la venta de las cosechas agrarias, y el mayor número posible de empleos agrarios (Tabla 3.5). Estas variables, sus relaciones, estados y tablas de probabilidad condicional, se explican en detalle en el capítulo 5, "La red bayesiana diseñada para el acuífero de la Mancha Occidental".

Tabla 3.5. Variables objetivo de la gestión del agua en el acuífero de la Mancha Occidental.

VARIABLES OBJETIVO DE LA RED BAYESIANA DEL ACUÍFERO DE LA MANCHA OCCIDENTAL
1. Años hasta la recuperación del acuífero
2. Nº agricultores
3. Producción agraria bruta

También se definieron las acciones que se pueden realizar para conseguir estos objetivos. En este caso se identificaron las medidas propuestas en el Plan Especial del Alto Guadiana, las consecuencias de la futura evaluación de los mercados agrícolas y las consecuencias de políticas agrarias (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Principales variables de entrada que representan las alternativas de gestión que intervienen en la gestión del agua del acuífero de la Mancha Occidental.

VARIABLES DE ENTRADA QUE REPRESENTAN MEDIDAS DE GESTIÓN
4. Plan de forestación
5. Compra de derechos de agua
6. Cumplimiento del RAE
7. Plan de reconversión del viñedo
8. Capacidad para cerrar pozos ilegales
9. Escenarios de mercado y políticas agrarias
10. Trasvase Tajo-Guadiana

Estas fases (la 2 y la 3) se realizaron a través de una serie de actividades, durante las que se elaboró el primer borrador de red bayesiana. Posteriormente, este borrador fue evaluado de forma iterativa, durante las actividades realizadas para desarrollar las siguientes fases de construcción de la red bayesiana.

Actividad A. Consistió en realizar dos reuniones con las partes interesadas. En el capítulo 4, el "Proceso de participación con las partes interesadas", se aporta información sobre estas dos reuniones. Contaron con un número determinado de representantes de grupos de interés, a fin de evitar excesivos participantes, de modo que permitiera trabajar con grupos más pequeños, y por tanto, más manejables y operativos. En la primera de ellas, participaron los representantes de las comunidades de usuarios, de sindicatos agrarios, y de la Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla- la Mancha. En la segunda, participaron representantes de grupos ecologistas y de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Esta separación se hizo para promover la aparición del mayor número de variables, y que esta operación no se viese limitada por posibles enfrentamientos o por la omisión de información que podía ser relevante. De esta forma, se obtuvieron dos primeras redes bayesianas piloto, cada una resultado de cada reunión (redes bayesianas nº 1 y nº 2).

Actividad B. Posteriormente, el equipo investigador analizó ambas redes, identificó las variables comunes de las dos, y construyó una nueva red bayesiana piloto, llamada nº 3. Es interesante señalar que las redes de las dos reuniones no eran muy diferentes entre sí, y aunque la estructura y relaciones podían resultar algo distintas, la mayoría de las variables formaban parte de las dos redes bayesianas. Por eso no resultó especialmente difícil construir la red bayesiana que integrara ambas redes.

Actividad C. La siguiente actividad consistió en un taller de trabajo sobre redes bayesianas en Copenhague, Dinamarca. A dicha reunión asistieron John Bromley (OUCE), África de la Hera (IGME), Gema Carmona (UPM), Jose Luis Molina (IGME-Murcia), Sara Lerer (DTU-ER, Universidad de Copenhague), Hans Jørgen Henriksen y Per Rasmussen (GEUS) y Pedro Zorrilla Miras (UCM-UAM) (Figura 3.12).

Figura 3.12. Fotografía en la que se ve (de izquierda a derecha) a Per Rasmussen (GEUS), África de la Hera (IGME), Jose Luis Molina (IGME-Murcia), John Bromley (OUCE) y Hans Jørgen Henriksen (GEUS), durante la reunión en Copenhague en junio de 2007.

Esta reunión sirvió tanto aportar soluciones técnicas para la utilización de redes bayesianas y del programa HUGIN, como para solucionar aspectos concretos de la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental.

En cuanto al uso de redes bayesianas en general, se trabajó tanto en aspectos de construcción de redes como en la participación pública.

Este taller permitió abordar aspectos necesarios del uso y funcionamiento de las redes bayesianas:

- Posibilidad de construir predicciones, evaluar futuras situaciones, analizar escenarios e integrar la dimensión temporal.

  Como primer paso, se decidió que la red bayesiana tuviese una escala de tiempo de un año de duración. Es decir, la red bayesian representa el consumo de agua, la producción agrícola, la recarga natural, etc, que se produce durante un año. Además se decidió trabajar en dos direcciones:

  a) Construir una red bayesiana normal, en la que se plantearían diferentes escenarios de la situación futura en el acuífero.

  b) Intentar construir una red bayesiana dinámica a partir de la anterior, con el objetivo de evaluar la evolución del acuífero en el tiempo. Además, permitiría investigar el potencial y las limitaciones de las redes bayesianas dinámicas.

- Profundizar en el conocimiento y uso de las diversas prestaciones del programa HUGIN 6.9, tales como por ejemplo, una herramienta auxiliar que permite la construcción de tablas de probabilidad condicional a partir de las probabilidades de sólo algunos de los estados, llamada *Elicited Probability Tables* (Cain, 2001).

- En cuanto a la construcción participativa de redes bayesianas, se plantearon las siguientes preguntas y se propusieron las subsiguientes soluciones: ¿Cómo modificar las redes bayesianas construidas por las partes interesadas durante las

reuniones? En el mismo sentido, ¿cómo unificar las dos redes planteadas en las dos reuniones?

Se decidió que el equipo investigador utilizaría la información y opiniones de las partes interesadas como datos y orientación para construir una red única. Se acordó que en la siguiente reunión con las partes interesadas se debía explicar de forma transparente la red común, y los criterios que habían guiado su construcción. Además, se debía dar la posibilidad a los asistentes a proponer cambios en dicha red. De esta forma, se consideró que la red construida sería fiel a la visión de las partes interesadas.

- En cuanto a aspectos concretos de la red bayesiana, se decidió que los límites geográficos de la red bayesiana serían los del acuífero de la Mancha Occidental, por las siguientes razones: es el área más importante del Alto Guadiana, porque es en la que hay un mayor uso de agua, una mayor superficie de regadío, un mayor número de agricultores, y donde se han producido los mayores conflictos. Además, puede servir de referencia para los otros acuíferos del mismo área.

- Surgió la duda de cómo representar las diferentes tipos de explotaciones que hay en la zona estudiada, en una red a escala de acuífero. Se decidió que sería mejor integrar todas las explotaciones en una misma variable y no representar los distintos tipos de explotaciones, porque llegaría a hacer la red bayesiana demasiado compleja.

- Por último se revisó con detalle la red bayesiana y se completaron las tablas de probabilidad condicional (TPCs) que todavía no se habían completado, de forma rápida, para poder hacer una primera evaluación de su funcionamiento. Las TPCs se rellenaron de acuerdo al criterio de los asistentes a la reunión, aún siendo conscientes de la reducida representatividad de los asistentes. No obstante, se hizo así para completar una primera red piloto y para proceder a calcular las probabilidades finales, es decir, para conseguir hacer funcionar la red. Aunque se asumió que las TPCs todavía deberían completarse con datos u opiniones de expertos en cada materia, se procedió a su ejecución como un primer ejercicio práctico. De esta forma, sirvió de primera versión para comprobar cómo funcionaba la red construida y detectar los posibles fallos que se podrían encontrar en su desarrollo. De hecho, en ese momento se identificó que la red bayesiana construida, que tenía 30 variables, no era correcta y debía corregirse. También se vio que la mejor opción sería elaborar escenarios agrícolas con diferentes consumos de agua, por ejemplo: altos ingresos agrarios, situación actual y ahorro de agua.

3.5.3 FASE 4. Obtener datos

La siguiente fase consiste en la recopilación de los datos existentes sobre la materia, para poder relacionar las variables, definir sus estados y completar las tablas de probabilidad (Domínguez 2004). La información utilizada durante este proceso queda resumida a continuación:

A) Reuniones de participación pública: para la construcción de la red bayesiana se han realizado cuatro reuniones con los grupos de interés, de mayo de 2007, hasta abril de 2008, cuya descripción se incluye en el Capítulo 4, "Proceso de participación con las

partes interesadas". En estas cuatro reuniones, los representantes de los principales sectores relacionados con el uso y gestión del agua participaron no sólo dando su opinión acerca del modelo, sino también aportando datos y valores. Las notas que se tomaron durante estas reuniones sirvieron como fuentes de datos. Estos datos resultaron especialmente útiles para definir las probabilidades de las variables más subjetivas, como por ejemplo, el grado de mejora de la tecnología de riego que podría haber en el futuro. También fueron muy útiles para validar los datos introducidos, o para sugerir cambios en los estados o probabilidades de diferentes variables.

B) Entrevistas a las partes interesadas: durante estas entrevistas se pudo analizar más detalladamente la red bayesiana con cada uno de los participantes. Además, al consistir en reuniones individualizadas, podían intervenir, participar y aportar más información que en las reuniones con todos los grupos de interés, en las que la escasez de tiempo y la apretada agenda no permitía extenderse completamente en todos los aspectos.

C) Bibliografía: En la bibliografía se pueden consultar todos los documentos y publicaciones empleados para llevar a cabo este trabajo. De entre todos ellos, son de especial relevancia aquellos elaborados por la Confederación Hidrográfica del río Guadiana (CHG), especialmente los documentos del Plan Especial del Alto Guadiana (CHG, 2008) y los documentos elaborados para el proceso de planificación realizado de acuerdo a la Directiva Marco europea (CHG, 2006a, 2006b y 2006c), así como los trabajos realizados por el Sistema de Información y Asistencia al Regante de la Junta de Castilla la Mancha (SIAR, 2008). Además, para aumentar la transparencia en el proceso de construcción de la red bayesiana, concretamente en la definición y explicación de las variables, se aporta también la fuente de los datos utilizados. De esta forma, las personas potencialmente interesadas pueden saber de dónde provienen los datos y consultarlos si lo precisan.

D) Modelos: los datos hidrogeológicos han sido obtenidos de dos fuentes simultáneamente: tanto de los documentos de la CHG (2006a, 2006b y 2008), como de modelos hidrológicos (Martínez Santos, 2007). También han sido relevantes los modelos económicos realizados por la Facultad de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid (Carmona y Varela-Ortega, 2007) que han servido como fuente, tanto para desarrollar el modelo conceptual de la red bayesiana, como para definir estados y probabilidades de las variables.

En los siguientes apartados se explica cómo se ha utilizado esta información para la elaboración de la estructura general y las diferentes variables que forman el modelo.

3.5.4 FASE 5. Definir los estados de las variables

Durante esta fase se definen los estados de cada variable, es decir, los posibles valores que puede adquirir, que, como se ha explicado anteriormente, pueden expresarse como valores discretos, intervalos, valoraciones cualitativas o variables binarias. Para esta labor se han utilizado las aportaciones de los grupos de interés, datos estadísticos e informes científicos, así como los resultados de los modelos hidrogeológicos y económicos comentados en la fase anterior. En el capítulo 5, "La red bayesiana diseñada para el acuífero de la Mancha Occidental", se describen los estados de cada variable.

Para esta fase fueron clave las entrevistas personales. En ellas se preguntó expresamente a los entrevistados por las variables que mejor conocen. Por ejemplo, a los agricultores se les preguntó por los precios de los productos agrarios, y a los ecologistas por el estado de conservación de los humedales. Durante ellas, además, hubo tiempo suficiente tanto para conocer sus opiniones sobre las variables cuyos estados debieran establecerse de acuerdo al conocimiento de expertos, como para sugerir nuevas fuentes de datos para variables definidas con datos de informes o estudios.

Además, en las siguientes reuniones con los grupos de interés (reuniones nº 3 y nº 4, de febrero y abril de 2008, respecticamente), también se les preguntó si les parecían apropiados los estados y se tuvieron en cuenta todas sus propuestas.

3.5.5 FASE 6. Construir las tablas de probabilidad condicional

La siguiente fase consiste en introducir las probabilidades de cada variable, es decir, la probabilidad de que cada variable se encuentre en un estado o en otro (Carmona 2008). Las fuentes de información para completar las tablas de probabilidad condicional han sido las mismas que las usadas para establecer los estados de las variables. Además, para esta fase fueron especialmente útiles las dos últimas reuniones con los grupos de interés (nº 3 y nº 4, explicadas en el Capítulo 4, "Proceso de participación con las partes interesadas"). En ellas, además de explicar de nuevo toda la red bayesiana para hacer una nueva evaluación, se incidió de forma especial en las tablas de probabilidad condicional.

Dicha participación de los interesados ha sido especialmente importante en el caso de las variables de las que no se disponían datos para completar sus tablas de probabilidad. Para obtener la opinión de las partes interesadas sobre estas variables, se preparó una presentación en Power Point, en la que se exponían sus estados, y se trató de completar las TPCs con sus aportaciones. Hay que decir que esta labor no fue fácil, ya que los participantes eran poco propicios a hablar de probabilidades concretas. Las razones pueden ser:

a) que consideraban mucha responsabilidad decir un nº (una probabilidad) concreto.

b) la existencia de una gran incertidumbre que hace difícil establecer una probabilidad con el requerido conocimiento o rigor, etc.

c) la falta de costumbre en cuantificar y trabajar con probabilidades.

3.5.6 FASE 7. Evaluación y validación de la red bayesiana

Durante la construcción de la red bayesiana, se comprobó que los resultados fuesen coherentes mientras se introducían nuevos datos o probabilidades de las variables. Para ello se ha utilizado el escenario de la situación actual, y se comparaban los resultados de dicho escenario con los datos más actuales disponibles. Fijando las variables padre en el estado correspondiente a dicho escenario, se comprobó si la red contenía errores, si los resultados de la red bayesiana se alejaban de la realidad

(Domínguez, 2004), y si los resultados respetaban las reglas y conocimientos científicos (Inman, 2008, pág. 185).

Hay que tener en cuenta que las redes bayesianas no son modelos deterministas que intenten representar la realidad, si no que son redes que relacionan variables por medio de probabilidades. Es una herramienta que permite representar el conocimiento que se tiene de un sistema, y comparar diferentes opciones (en este caso, medidas para gestionar el acuífero). No pretende ser un modelo que represente con total fiabilidad el funcionamiento real del sistema. Sirve para comparar los resultados de diferentes medidas, destacando las incertidumbres que se derivan del conocimiento existente.

La validación de un modelo normalmente se hace comparando los resultados con un ejemplo "control" del mundo real, y sirve para saber la aceptación, o lo que habitualmente se designa como la confianza, que se puede tener en él, así como el margen de error que contiene (Inman, 2008). Éstas características se conocen directamente en una red bayesiana, ya que dependiendo de la amplitud de la distribución de probabilidades, la incertidumbre será mayor o menor. Por tanto, no tiene sentido hacer una validación de las redes bayesianas cuando no se trata de un modelo, y cuando se conoce de antemano la cantidad de error o acierto de cada resultado.

Además de la evaluación realizada por el equipo de investigación, la evaluación más importante y definitiva la han realizado las partes interesadas en el problema. Como se ha explicado, en las sucesivas actividades con las partes interesadas se han evaluado de forma iterativa las diferentes partes de la red bayesiana. Es decir, en cada reunión se hacía un repaso del proceso de construcción, y se volvían a evaluar todos los componentes de la red. Las redes bayesianas permiten que las partes interesadas, y en general, personas que no saben manejar el programa, puedan evaluarlo y examinar por completo cómo está construido. Es decir, las redes bayesianas son una herramienta transparente que facilitan la evaluación por personas no expertas. Por ejemplo, en las entrevistas personales se repasaron todas las variables, con sus estados y probabilidades. Dichos datos fueron también enviados por e-mail a los participantes, que respondieron con comentarios muy útiles. Con la información recogida de los participantes en todas las etapas de evaluación, la red bayesiana se modificó para representar de forma optimizada sus opiniones.

Durante la asamblea de noviembre de 2008 (Hurghada, Egipto) del proyecto NeWater, también se mostraron los avances a los expertos y colaboradores en este tema dentro del proyecto NeWater, concretamente a John Bromley (Oxford University Center for Environment, OUCE), Hans J. Henriksen (Geological Survey of Denmark and Greenland, GEUS) y Gema Carmona (Universidad Politécnica de Madrid, UPM), que dieron algunos comentarios sobre la estructura y funcionamiento de la red bayesiana (Figura 3.13). Posteriormente, en Junio de 2008, se realizó una estancia de dos días en el primero de los organismos citados para revisar con John Bromley los avances de la red, contando también con la colaboración de José Luis Molina (Instituto Geológico y Minero de España, IGME). Allí se incorporaron novedades importantes para el funcionamiento interno de la red bayesiana, como por ejemplo, el establecimiento de varias tablas de probabilidad condicional a través de fórmulas matemáticas o de fórmulas de condicionalidad, en lugar de establecerlas de forma manual. Estas fórmulas hacen mucho más operativa la red bayesiana, los cambios de datos o de

probabilidades por nuevos conocimientos son más rápidos, y el funcionamiento es más lógico y transparente.

Figura 3.13. Fotografía de la reunión sobre redes bayesianas durante la Asamblea General del Proyecto NeWater, en noviembre de 2008 (Hurghada, Egipto).

Posteriormente, durante la estancia de un mes y medio en Dinamarca, también se revisó la red bayesiana con los expertos en redes bayesianas Finn Jensen (del 15 al 30 de agosto de 2008, en la Universidad de Aalborg) y con Hans J. Henriksen y Per Rasmussen (del 1 al 30 de septiembre de 2008, en GEUS, Copenhague). Entre otras cosas, como resultado de las revisiones, se incorporaron las variables agrícolas de secano (las partes interesadas fueron las primeras en aconsejarlo), y se utilizaron las herramientas de análisis incorporadas en el programa HUGIN 6.9. Finalmente, aprovechando un curso sobre redes bayesianas que el proyecto NeWater realizó en la Universidad Complutense de Madrid (Figura 3.14), se mostró la red bayesiana final a John Bromley (OUCE) y a Hans J. Henriksen (GEUS).

El 13 de noviembre de 2008, se hizo una reunión final de exposición de resultados con las partes interesadas, en Ciudad Real. En ella se presentó de forma muy breve los principales resultados de la red bayesiana. Durante esta reunión, organizada por el equipo de la profesora Consuelo Varela (UPM) y con fondos del proyecto europeo SCENES, los participantes evaluaron tanto los resultados de la red bayesiana como el proceso de participación. Los resultados de esta evaluación se presentan en el siguiente capítulo, 4: "Proceso de participación con las partes interesadas".

Figura 3.14. Fotografía en la que se ve (de izquierda a derecha) a John Bromley (OUCE), Ramón Llamas (UCM), África de la Hera (IGME) (al fondo), y Hans Jørgen Henriksen (GEUS), durante el primero de los dos cursos sobre redes bayesianas que el proyecto NeWater ha organizado en Madrid, durante el periodo de realización de la presente tesis doctoral (Septiembre 2007 y Octubre 2008).
El autor de la tesis participó en la organización del curso e impartió una sesión en cada uno de ellos.

CAPÍTULO 4. PROCESO DE PARTICIPACIÓN CON LAS PARTES INTERESADAS

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el proceso de participación realizado para construir la red bayesiana. Se incluye, además, una evaluación realizada por los participantes, tanto del proceso de participación como de la utilidad de las redes bayesianas para conseguir una apropiada participación pública. Este capítulo utiliza en parte materiales de un artículo que está en proceso de publicación en la revista *Ecology and Society*, del cual soy primer autor. Su referencia es: Zorrilla P., Carmona, G., De la Hera A., Varela-Ortega C., Martínez-Santos P., Bromley J. and Henriksen H. J. (2009). "Evaluation of bayesian networks as a tool for participatory water resources management: Application to the Upper Guadiana Basin in Spain". Quiero destacar la gran participación que en él ha tenido el segundo de los autores, quien ha desarrollado conmigo buena parte de la metodología de trabajo aplicada.

La participación pública se puede entender como "conseguir que la gente influya en el resultado de planes y procesos de trabajo" (EC, 2003). A su vez, los procesos de participación pública se pueden definir como "procedimientos diseñados para consultar, involucrar e informar al público, para conseguir que los afectados por una decisión, contribuyan o aporten algo a dicha decisión" (Smith 1983, en Rowe and Frewer 2000).

La participación de los interesados en la gestión de los recursos naturales, y de los recursos hídricos en particular, cada vez está cobrando mayor importancia (DOCE, 2000). Esto se pone de manifiesto con el incremento del nº y tipo de metodologías para conseguir introducir a las partes interesadas en los procesos de toma de decisiones (Rowe and Frewer, 2004; Lynam *et al.*, 2007). Sin embargo, su evaluación y comparación es difícil por la falta de puntos de referencia apropiados (Rowe and Frewer, 2000). Para contribuir a mejorar la evaluación de los procesos de participación, la metodología que se describe aquí se ha realizado en base a unos criterios concretos, que se definen previamente, extraídos de la literatuta precedente.

Como se ha explicado en el capítulo 2, "Caracterización del área de estudio", el acuífero de la Mancha Occidental es un caso paradigmático por los conflictos que existen en torno a la gestión del agua. El origen del conflicto es la extracción intensiva de agua subterránea, que ha funcionado como motor económico en la región, pero que a la vez, ha provocado importantes consecuencias ecológicas negativas. Esto ha creado un conjunto de conflictos sociales entre los principales interesados en la gestión del agua del acuífero. En el capítulo 2, "Caracterización del área de estudio", se describen los principales conflictos por la gestión del agua. Los principales grupos de interés en el acuífero de la Mancha Occidental son los siguientes:

- La entidad gestora del agua: Confederación Hidrográfica del Guadiana, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente, medio Rural y medio Marino.

- La administración agraria: principalmente la Consejería de Agricultura de Castilla la Mancha.

- Agricultores, que en conjunto usan el 90% del agua del acuífero, y que a su vez, pueden dividirse según diferentes intereses:

    - Asociaciones de regantes (Comunidades de regantes de cada municipio y Comunidad General de Usuarios del Acuífero 23).
    - Sindicatos agrarios (COAG, ASAJA y UPA).
    - Pequeños o grandes agricultores
    - Agricultores con derechos de agua y agricultores sin derechos de agua
    - Agricultores a tiempo completo y agricultores a tiempo parcial

- Grupos ecologistas: defienden la recuperación de los humedales, y los más activos son: Ecologistas en Acción, WWF-Adena, Ojos del Guadiana Vivos, SEO-Birdlife.

Hay que destacar también otros actores interesados, como las compañías de abastecimiento urbano o las industrias; no obstante, su papel en los conflictos siempre ha sido menor comparado con los agricultores y los grupos conservacionistas. Posiblemente la razón de ello sea que el uso urbano e industrial apenas supone conjuntamente el 10% del agua usada, de tal forma que este pequeño porcentaje del volumen total de agua usada, ha hecho que no participen en la polémica.

Como se explica en los apartados finales de este capítulo, la participación de los interesados en la construcción de la red bayesiana ha conseguido mejorar su conocimiento del sistema, comprender mejor los intereses de los demás participantes y acercar posturas hacia propuestas para mejorar la gestión del agua.

En los siguientes epígrafes se explicarán, en primer lugar (4.2) los objetivos del proceso de participación. En el siguiente apartado (4.3) se hace una revisión bibliográfica, en el apartado 4.4 se describe el método de participación realizado, así como el método de evaluación seguido. Finalmente, se explica cómo se incorporaron las opiniones de los participantes en la red bayesiana (4.5) y se exponen los resultados de la evaluación (4.6).

4.2 OBJETIVOS DE LA PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA RED BAYESIANA

Los objetivos de la participación de las partes interesadas en la construcción de la red bayesiana son:

1. Mejorar el conocimiento que los participantes tenían del funcionamiento y de las relaciones entre los diversos factores que intervienen en la gestión del agua.

2. Proporcionar una plataforma de diálogo entre los participantes.

3. Evaluar la capacidad de las redes bayesianas como método de participación en situaciones complejas y conflictivas.

4.3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La legislación europea relacionada con los recursos hídricos fomenta cada vez más la participación pública (DOCE, 2000). Lo hace porque ve necesario involucrar a los principales interesados en el diseño de las políticas para conseguir estrategias de planificación que tengan éxito.

Para incorporar el conocimiento, las preferencias y los valores de los interesados en la gestión de los recursos naturales, es muy importante elegir la técnica más apropiada para cada situación concreta (Hare *et al.*, 2003), ya que existen numerosas técnicas diferentes. Conocer las ventajas e inconvenientes de cada herramienta también es esencial para interpretar correctamente los resultados del proceso de participación (Lynam *et al.*, 2007). En los trabajos de Rowe and Frewer (2000), Webler and Tuler (2001), CEC (2003) y Lynam *et al.* (2007) se hace una recopilación de muchas de ellas.

Un tipo de técnicas de participación se basan en la identificación de las variables más importantes que intervienen en un sistema y en establecer relaciones entre ellas, construyendo los llamados "diagramas causales" (en inglés: *Causal diagrams*) (Lynam *et al.*, 2007). Si este proceso se hace entre un grupo de personas, pertenece al tipo de métodos de "construcción de modelos en grupo" (*Group Model Building*) (Andersen *et al.*, 2007). La gran ventaja de estos métodos es que permite que los participantes identifiquen claramente las variables más importantes y sus relaciones. Si además de relacionar variables, se construyen modelos que hagan cambiar los valores de unas variables según cambian los valores de las demás, la herramienta se clasifica como "sistema dinámico" (en inglés: *system dynamics*, Lynam *et al.* (2007)). Pero en sistemas complejos como los socioecosistemas, hay muchas relaciones que no se pueden cuantificar, por la ausencia de datos o de conocimiento. En estos casos, Charniak (1991) defiende que las relaciones se pueden expresar como probabilidades.

Las redes bayesianas se pueden considerar un tipo de "construcción de modelo en grupo", ya que lo primero que hay que hacer es definir unas variables y las relaciones entre ellas. Además, también se pueden considerar "sistemas dinámicos", porque establece relaciones numéricas entre las variables. La característica particular que diferencia a las redes bayesianas es que las relaciones entre las variables se expresan como probabilidades, utilizando la regla de Bayes (Jensen 1996). De esta forma, las incertidumbres se pueden representar mediante probabilidades. La descripción y el funcionamiento detallado de las redes bayesianas se ha desarrollado detenidamente en el capítulo 3, "Metodología".

En la literatura consultada se afirma que las redes bayesianas son un buen método para involucrar a las partes interesadas, obtener la aportación de su conocimiento e incorporar sus valores a las decisiones (Lynam *et al.*, 2007), así como para condensar la información y focalizar el diálogo en los temas importantes (Rieman *et al.*, 2001). Sin embargo, aunque las redes bayesianas se han utilizado como herramienta de participación en numerosas ocasiones (algunos trabajos son: Varis and Kuikka, 1997; Borsuk *et al.*, 2001; Cain *et al.*, 2003; Smith and Bosch, 2004; Martín de Santa Olalla *et al.*, 2005; Baran *et al.*, 2006; Hart *et al.*, 2006; Castelletti and Soncini-Sessa, 2007; Henriksen *et al.*, 2007b), pocos trabajos de los consultados describen cómo se utilizaron y sólo uno de ellos evalúa de forma explícita sus características como método de participación (Henriksen and Barlebo, 2008). Estos autores, un año después de llevar a cabo el proceso participativo, hicieron una evaluación del mismo mediante una entrevista semi-estructurada a dos de los participantes en el proceso. La entrevista

estaba centrada en obtener la opinión de los participantes sobre la utilidad de las redes bayesianas como herramienta para la gestión adaptable de recursos hídricos, pero también obtuvieron conclusiones sobre el proceso de participación. Concluyeron tres importantes aspectos: a) que las redes bayesianas son útiles para focalizar los diálogos en aspectos concretos; b) que es necesario explicar previamente a los participantes cómo funcionan las redes bayesianas, y c) que todavía se puede mejorar la forma en que se visualizan.

Por tanto, es en la presente tesis la primera vez en la que se evalúa de forma rigurosa la capacidad de las redes bayesianas como **herramienta de participación pública en la gestión de recursos hídricos**. La evaluación se basa en la percepción subjetiva de los participantes, según unos criterios definidos previamente, como se explica en detalle en el siguiente apartado.

4.4 METODOLOGÍA

En la primera parte de este apartado se describe cómo se han aplicado las redes bayesianas como herramienta de participación pública en el acuífero de la Mancha Occidental. En la segunda, se explica el método utilizado para evaluar el proceso de participación y la utilidad de las redes bayesianas como herramienta de participación.

Conviene explicar que la construcción participativa de las redes bayesianas ha sido la segunda parte de un proceso de participación más amplio. Éste, ha sido organizado por el equipo de investigación del proyecto NeWater, desde 2005 hasta 2008, y en él han intervenido los principales interesados en la gestión del agua en la cuenca alta del Guadiana. Dicho proceso constó de nueve reuniones y diez entrevistas, y se puede dividir en dos etapas netamente distintas.

1ª Etapa: 2005-2006

Se compone de las primeras cinco reuniones y sus objetivos se pueden resumir en tres: a) conseguir un foro de discusión en el que los participantes pudieran hablar en un clima de confianza mutua; b) hablar de los aspectos institucionales, agro-económicos e hidrológicos que intervienen en la gestión del agua en la cuenca alta del Guadiana; y c) construir escenarios de situaciones futuras para evaluarlos con diferentes métodos hidrológicos y económicos. Estas reuniones, diseñadas para asegurar que todos los grupos de interés participaran en las discusiones, sirvieron para identificar a los actores principales, los principales aspectos políticos de la gestión del agua, y para reducir considerablemente la atmósfera de enfrentamiento que existía previamente. Para más detalles, se puede consultar Varela-Ortega *et al*. (2006), Martínez Santos *et al*. (2007) y Correa (2007).

2ª Etapa: 2007-2008: construcción de redes bayesianas

En la segunda parte del proceso de participación se llevaron a cabo las últimas cuatro reuniones y las diez entrevistas, entre mayo de 2007 y abril de 2008. Estas actividades se dirigieron al proceso de construcción de la red bayesiana que se presenta en esta tesis, y constituyen el material del proceso de participación que se explica a continuación en este capítulo.

4.4.1. Método de participación desarrollado

El proceso de participación para construir la red bayesiana ha seguido las guías establecidas en el proyecto europeo MERIT (Bromley, 2005). Ha servido para construir dos redes bayesianas, una a escala de acuífero, que es la incluida en esta tesis; y una segunda red bayesiana a escala de explotación agrícola, desarrollada por Gema Carmona bajo la dirección de Consuelo Varela, de la Universidad Politécnica de Madrid. Todo el proceso de participación, al igual que su evaluación, ha sido organizado y realizado en colaboración con este equipo de la UPM. Por esta razón, el artículo en el que se basa este capítulo está suscrito por nosotros, junto con otros autores del proyecto europeo NeWater. Dado que ambas redes bayesianas tienen por objeto la gestión del agua en el Alto Guadiana, será de gran interés en un futuro, la comparación de ambas redes bayesianas construidas a distintas escalas. Este aspecto queda al margen del objeto de esta tesis.

A. Participantes

En Rowe and Frewer (2000 y 2004) se recomienda que la participación comience desde los primeros momentos de la toma de decisiones. Siguiendo estas indicaciones y las sugeridas por Bromley (2005), los interesados participaron en el desarrollo de la red bayesiana desde el primer paso, es decir, desde la definición del problema a tratar. Al hacerlo, se esperaba que los participantes sintieran como suya la red bayesiana, y que tuvieran más confianza en sus resultados.

Se consideró que el número de personas participantes no debía ser mayor de 20. La construcción participativa de una red bayesiana exige cierto tiempo, requiere un "aprendizaje" previo, y es necesario llegar a conclusiones concretas. Por todas estas circunstancias, se estimó que un grupo mayor habría ralentizado las reuniones. De esta forma, se contó con 20 personas, que representaron a los principales grupos de interés, tal como se recomienda en Rowe and Frewer (2004) y en Burguess and Chilvers (2006) (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Lista de los participantes en la construcción de la red bayesiana.

Grupo de interés	**Nº de participantes**	**Puesto dentro del grupo de interés o en la institución a la que representa**
Confederación Hidrográfica del Guadiana	2	Jefe de la Oficina de Planificación Técnico de la Comisaría de Aguas
Consejería de Agricultura de Castilla la Mancha	4	Jefe del Servicio de Mejora de Explotaciones Agrarias. Delegación provincial de Agricultura en Ciudad Real 3 técnicos del Servicio de Mejora de Explotaciones Agrarias. Delegación Provincial de Agricultura en Ciudad Real
Comunidades de regantes	4	3 Representantes de asociaciones de usuarios de agua 1 Abogada de usuarios de agua
Sindicatos agrarios	2	2 Representantes de un sindicato agrario
Grupos ecologistas	4	Encargados de la sección de agua y agricultura
Independientes	3	1 Abogado especialista en aguas 1 Representante de la Fundación Nueva Cultura del Agua 1 Técnica Consultora ambiental
Centros de Investigación	1	Profesora de London School of Economics

El grupo de investigación intentó organizar las reuniones de tal forma que se consiguiese un proceso de participación justo y democrático (Webler *et al*, 2001; Burguess and Chilvers, 2006), fomentando la comunicación en las dos direcciones: de los organizadores a los participantes, y viceversa. Además se trató de que todas las visiones e intereses fuesen incorporadas y que la moderación de las reuniones fuese imparcial (Rowe and Frewer, 2004; Von Korff, 2006). La posición neutral que tuvo el equipo investigador desde los primeros momentos fue esencial para conseguir que todos los interesados participaran y dialogaran. Además, en todo momento, tanto al principio de las reuniones como en los periodos existentes entre ellas, se trató de informar a los participantes de los pasos que se iban dando y de la situación en la que se encontraba la construcción de la red bayesiana (Webler *et al*., 1995; Rowe and Frewer, 2000; Von Korff, 2006). De igual forma, se les informó y consultó de los pasos que se seguirían para construir la red. También se trató de enviar los documentos que se iban originando como resultado de las reuniones.

El grupo organizador tuvo los mismos papeles en cada reunión, con el fin de seguir la misma sistemática y garantizar la fiabilidad de las apreciaciones: una persona explicaba el objetivo de la reunión y se ocupaba del desarrollo del contenido; otra persona hacía de moderadora; y una tercera persona se ocupaba de redactar el acta de la reunión.

B. Etapas del proceso de participación

El proceso de participación se estructuró en cuatro etapas, cada una de las cuales se corresponde con una o varias de las etapas de construcción de una red bayesiana. En el capítulo "Metodología" se hace una explicación de las etapas de construcción de una red bayesiana. El desarrollo del proceso de participación se explica a continuación y se resume en las Tablas 4.2. y 4.3. En la Tabla 4.4 se puede consultar información práctica sobre cada una de las actividades de participación.

Tabla 4.2. Proceso de participación para construir la red bayesiana.

ETAPAS	ACTIVIDADES	OBJETIVOS
1ª ETAPA	Primeras dos reuniones consecutivas (Mayo 2007)	1.Definición del problema 2.Identificación de los factores, acciones e indicadores más importantes 3.Establecimiento de las relaciones entre ellos
2ª ETAPA	Entrevistas individuales (Enero 2008)	4.Obtención de dato 5. Definición de los estados de las variables
3ª ETAPA	Tercera reunión (Febrero 2008)	6. Construcción de las tablas de probabilidad condicional
4ª ETAPA	Cuarta reunión (Abril 2008)	7. Evaluación y validación de la red bayesiana

<u>1ª Etapa del proceso de participación</u>: Primeras dos reuniones consecutivas

Durante esta etapa se completaron las siguientes fases de la construcción de la red bayesiana:

1. Definición del problema
2. Identificación de los factores, acciones e indicadores más importantes
3. Establecimiento de las relaciones entre los factores

El objetivo de la primera etapa era completar los tres primeros pasos en la construcción de redes bayesianas, y para realizarlo de forma participativa se hicieron dos reuniones consecutivas con dos grupos distintos, como se ha señalado en el capítulo 3, "Metodología". Como se ha explicado anteriormente, trabajar con grupos pequeños facilita la explicación de la metodología y permite hablar sobre más aspectos y tratarlos con mayor profundidad. Esta estrategia es la recomendada en trabajos anteriores (Cain, 2001; Bromley, 2005; Henriksen *et al.*, 2007b).

Al hacer los grupos se tuvieron en cuenta afinidades entre los grupos de interés, y se convocó a una primera reunión a los agricultores y a la Consejería de Agricultura, y a una segunda reunión a los grupos ecologistas y a la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Esto permitiría evitar enfrentamientos directos, y que los participantes se expresaran con mayor libertad. Éste último aspecto era de especial relevancia en esta etapa de la construcción de la red bayesiana, en la que es preferible que aparezca el mayor número de variables posibles.

En ambas reuniones se explicó a los participantes en qué consisten las redes bayesianas y los pasos para su construcción (Anexo nº 2 y Anexo nº 3). En las reuniones posteriores se volvió a explicar las redes bayesianas, aunque de una forma más resumida. También se les presentó una propuesta de los pasos necesarios para construir la red bayesiana con su participación.

Para estructurar el diálogo en estas reuniones, se preparó un formulario, en el que se preguntaba sobre los principales aspectos que influyen en la gestión del agua en el acuífero de la Mancha Occidental (Anexo nº 4). El desarrollo de la reunión se hizo contando con una persona actuando de moderadora. La moderadora iba formulando las preguntas del cuestionario, que eran contestadas por los asistentes. Al mismo tiempo, el autor de la tesis iba directamente anotando en un archivo del programa informático HUGIN 6.9, las variables que surgían de las respuestas de los participantes y las iba relacionando entre sí. En todo momento los participantes podían seguir el proceso de construcción de la red y proponer los cambios que vieran oportunos, pues se utilizó un cañón de electrones que proyectaba la imagen ampliada de un ordenador portátil en una gran pantalla (Figura 4.1). Una tercera persona tomaba notas de las intervenciones y aclaraba posibles dudas, bien conceptuales, o bien referidas a la clarificación de contenidos, a efectos de evitar malentendidos y para asegurar que se hablaba de lo mismo.

Figura 4.1. Foto de la reunión de definición del sistema con la participación de representantes de agricultores y de la Consejería de Agricultura de Castilla la Mancha.
Al fondo se puede ver la gran pantalla en la que se proyectaba la red bayesiana al mismo tiempo que se construía.

Como resultado de estas dos reuniones se obtuvieron dos redes bayesianas. Posteriormente, el grupo de investigación identificó las variables comunes a las dos redes y construyó una tercera. En esta nueva red bayesiana se incluyeron las variables comunes a las dos redes iniciales, además de otras nuevas, y se establecieron las relaciones más lógicas para dar coherencia al sistema.

A continuación, se inició la búsqueda de datos para rellenar los estados de las variables y las tablas de probabilidad condicional.

2ª Etapa del proceso de participación: Entrevistas individuales

Durante esta etapa se completaron las siguientes fases de la construcción de la red bayesiana:

4. Obtención de datos
5. Definición de los estados de las variables

Los objetivos de esta segunda etapa eran la obtención y de datos y definición de los estados de las variables de la construcción de una red bayesiana. Para ello, se consideró que era más apropiado hacer entrevistas a cada uno de los participantes (Anexo nº 5). De esta forma se podría repasar más detalladamente el trabajo avanzado hasta el momento (la estructura de la red y los estados de algunas variables). Además sería más fácil que cada participante nos proporcionara los datos o las fuentes de datos sobre los que tuviese mayor conocimiento.

Para realizar las entrevistas se diseñó un nuevo cuestionario (Anexo nº 6) en el que se explicaba la estructura de la red, los estados de cada variable y los datos recogidos indicando su fuente (para asegurar la transparencia de los datos). Se hizo una primera entrevista que sirvió para evaluar el cuestionario, que fue modificado para las siguientes entrevistas.

Las entrevistas se realizaron en el lugar de trabajo de los entrevistados. Durante las entrevistas, que duraron entre una y dos horas, dos personas del equipo investigador preguntaban a cada participante siguiendo el cuestionario (Figura 4.2). Como resultado se obtuvieron nuevos datos y nuevas fuentes de información, para completar los estados de las variables.

Adicionalmente, se buscó definir las tablas de probabilidad condicional de algunas variables. Sin embargo, esta tarea fue difícil debido a la dificultad que encontraban los participantes para asignar, con carácter prospectivo, las probabilidades a los estados de algunas variables en el futuro. En base a esta experiencia, en las siguientes reuniones, en lugar de pedir a los participantes que asignaran probabilidades numéricas, se les preguntó en términos relativos por las probabilidades de que ciertas variables tomaran en el futuro un valor u otro. De esta forma, resultaba más fácil contestar y cuantificar. El inconveniente es que posteriormente el equipo investigador debía concretar dichos términos relativos en probabilidades numéricas.

Figura 4.2. Foto de una de las entrevistas para la construcción de la red bayesiana. Jose María Oñate (sindicato agrario COAG, izquierda), Gema Carmona (UPM, derecha) y el que escribe (centro).

<u>3ª Etapa del proceso de participación</u>: Tercera reunión

Durante esta etapa se completó la fase nº 6 de la construcción de la red bayesiana: Construcción de las tablas de probabilidad condicional.

La mayor parte de las tablas de probabilidad condicional pudieron completarse con los datos existentes. Sin embargo, había una serie de variables que debían ser completadas con la opinión de los actores interesados, especialmente las referidas al futuro nivel de aplicación de las medidas evaluadas (por ejemplo, la cantidad de derechos de uso de agua que creían que la Confederación Hidrográfica será capaz de comprar en los próximos años). Para ello, se realizó una tercera reunión con las partes interesadas. En ella, además, se revisaron las partes de la red bayesiana que habían sido completadas hasta entonces, y se presentaron algunos resultados preliminares (Anexo nº 7).

Para ello, se preparó una presentación de *Powerpoint* explicando la estructura de la red variable a variable, y las tablas de probabilidad condicional de cada variable (Anexo nº 8). La presentación iba siendo explicada por el autor de la tesis, y una moderadora fomentaba y organizaba el debate y las preguntas (Figura 4.3). De esta forma, se volvió a evaluar la estructura de la red y se obtuvo la opinión de los interesados para definir las tablas de probabilidad condicional necesarias.

Figura 4.3. Foto de la tercera reunión para la construcción de la red bayesiana.

<u>4ª Etapa del proceso de participación</u>: Cuarta reunión

Durante esta etapa se completó la 7ª fase de la construcción de la red bayesiana: la Evaluación y validación de la red bayesiana.

Esta última reunión fue la de la evaluación final de la red bayesiana y de sus resultados (Anexo nº 9). Se redactó un documento explicativo de la red bayesiana final y de sus resultados, que se envió a los participantes una semana antes de la reunión (no se ha incluido en la tesis doctoral porque ocupa 27 páginas). Durante la reunión, se hizo una rápida descripción de la red bayesiana, ya que su estructura y datos habían sido explicados en las reuniones anteriores. Después, se dedicó más tiempo a describir los resultados que producía la red, y a obtener las opiniones de los participantes respecto a dichos resultados.

Con los comentarios obtenidos de los participantes en esta reunión, se modificó la red bayesiana con el fin de que sus resultados se acercaran más a la realidad. Además, sirvió para constatar que los resultados respondían de forma aceptable a la realidad.

Tabla 4.3 Descripción del proceso de participación para la construcción de la red bayesiana.

Etapas de construcción de una red bayesiana	**Definición del problema + Identificación de los factores, acciones e indicadores más importantes + Establecimiento de las relaciones entre ellos**	**Obtención de datos + Definición de los estados de las variables**	**Construcción de las tablas de probabilidad condicional**	**Evaluación y validación de la red bayesiana**
Actividades de participación realizadas	**1ª Reunión (Agricultores + Administración agraria) y 2ª Reunión (Ecologistas + Organismo de cuenca)**	**Entrevistas**	**3ª Reunión**	**4ª Reunión**
OBJETIVOS	-Identificar las variables más importantes del sistema, incluidas las acciones potenciales y los indicadores.	a) Validar la red bayesiana preliminar. b) Obtener los datos que faltaban, y c) Verificar que los datos incluidos hasta ese momento se acercaban a la realidad.	a) Revisar los últimos cambios en la red. b) Definir las probabilidades de los estados de cada variable.	Evaluar los resultados.
HERRAMIENTAS	-Los grupos de interés se dividieron en dos grupos que participaron en dos sesiones distintas: a) Representantes de agricultores y de la administración agraria. b) Representantes de asociaciones ecologistas y de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. -Cuestionario	Cuestionario que explicaba: - La estructura de la red. - El estado de cada variable. - Datos recogidos indicando su fuente (para asegurar la transparencia de los datos).	Presentaciones de *Powerpoint* explicando: -La estructura de la red, variable a variable. -Las probabilidades de cada variable.	Documento explicativo de la red bayesiana final y de sus resultados. *Powerpoint* explicando los principales resultados
PROGRAMA/ ORGANIZACIÓN	Introducción a las redes bayesianas. Presentar los futuros pasos para la construcción de la red bayesiana. Durante la reunión se construyó una red bayesiana empezando sin una red inicial.	Dos investigadores preguntaban con el cuestionario a cada participante.	Debates abiertos guiados por los organizadores.	La documentación se envió a los grupos interesados una semana antes de la reunión. Los organizadores presentaban los resultados, que eran comentados por los participantes.
RESULTADOS	Dos redes (una por reunión). Respuestas al cuestionario.	Revisión de la estructura de la red y de algunos estados de las variables. Nuevos datos y fuentes de inform.	Validación de la estructura de la red. Opiniones de los interesa-dos para definir probab.	Evaluación de los resultados. Opiniones de los interesados para definir probabilidades.

Tabla 4.4. Información práctica sobre el proceso de participación para la construcción de la red bayesiana.

Etapas de construcción de una red bayesiana	**Definición del problema + Identificación de los factores, acciones e indicadores más importantes + Establecimiento de las relaciones entre ellos**		**Obtención de datos + Definición de los estados de las variables**	**Construcción de las tablas de probabilidad condicional**	**Evaluación y validación de la red bayesiana**
Actividades de participación realizadas	**1ª Reunión (Agricultores + administración agraria)**	**2ª Reunión (Ecologistas + administración hidráulica)**	**Entrevistas**	**3ª Reunión**	**4ª Reunión**
Fecha	*Jueves 10 de Mayo de 2007.*	Miércoles 16 de Mayo de 2007.	David Howell, SEO. Fue la primera entrevista y sirvió para redefinir el custionario.16-1-2008 Agustín Apio. Comunidad General de Usuarios de Agua del Acuífero 23. 23-1-2008. José María Oñate. COAG. 23-1-2008. Bernardo Díaz del Amo. Comunidad de Regantes de Manzanares. 24-1-2008. David Peracho. Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. 24-1-2008. Ángel González. Consejería de Agricultura de la JCCM. 25-1-2008. José Manuel Hernández. Ecologistas en Acción-Ciudad Real. 25-1-2008. Alberto Fernández Lop. Adena-WWF. 30-1-2008. José Ángel Rodríguez Cabellos. Oficina de Planificación de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. 1-2-2008. Celsa Peiteado. Adena-WWF. 25-4-2008.	Martes 5 de Febrero de 2008	Martes 29 de abril de 2008.
Hora	De 10:00 a 16:00 h	*De 10:00 a 14:00 h.*		*De 10:30 a 14:30 h.*	*De 16:00 a 18:00 h.*
Lugar	Salón de Actos de la Delegación Provincial de Agricultura. Ciudad Real.	Sala de Juntas. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.		Fundación Ortega y Gasset. Madrid.	Sala de Juntas. Facultad de CC Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.
Organismos representados	-Comunidad General de Usuarios de Agua del Acuífero 23. -Confederación de agricultores y ganaderos (COAG). -Comunidad de Regantes de Manzanares. -Servicio de Mejora de Explotaciones Agrarias. Delegación provincial de Agricultura en Ciudad Real	-Ecologistas en Acción-Ciudad Real. -Adena-WWF. -Oficina de Planificación de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. -Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.		-Dirección General del Agua. MIMARM. -Comunidad Regantes de Manzanares -Delegación provincial de Agricultura en Ciudad Real- -Comunidad de Regantes de Alcázar de San Juan. -Ecologistas en Acción -Ambissat -COAG -Abogado de aguas -London School of Economics - WWF-ADENA - C. H. Guadiana.	- Confederación de agricultores y ganaderos (COAG). - Confederación Hidrográfica del Guadiana. -Delegación provincial de Agricultura en Ciudad Real -Ambissat (Consultora Ambiental).

4.4.2 Método para evaluar el proceso de participación

A continuación se explica la metodología empleada para evaluar el proceso de participación que se acaba de describir. El método se ha diseñado siguiendo las recomendaciones de Abelson *et al*. (2003), Rowe and Frewer (2004) y von Korff (2006), bajo la teoría de "qué herramienta funciona mejor y en qué circunstancias" (Figura 4.4).

Antes de nada, es necesario aclarar que se han evaluado dos elementos distintos:

a) El proceso de participación: con el fin de saber si se ha conseguido obtener los objetivos que perseguía.

b) Las redes bayesianas como herramienta o método de participación: para saber cómo funcionan, si son útiles, y para contribuir a conocer qué ventajas y qué inconvenientes tienen, para su uso potencial futuro por parte de otros usuarios, no necesariamente familiarizados con la herramienta. En definitiva, para saber cuándo es mejor usar las redes bayesianas como método de participación.

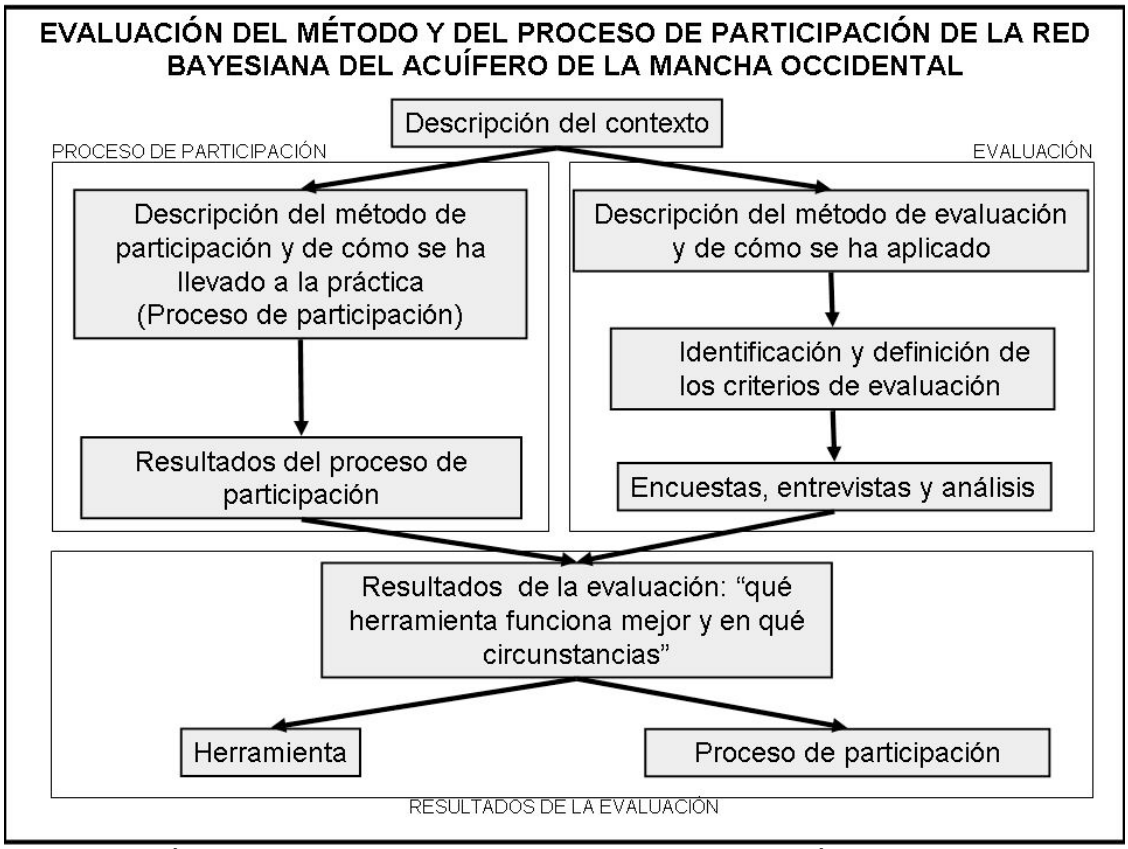


Figura 4.4. Método diseñado para evaluar el proceso de participación desarrollado para construir la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental, y para evaluar el propio método de participación empleado (siguiendo las recomendaciones de Abelson *et al*. (2003), Rowe and Frewer (2004) y von Korff (2006)).

Una de las dificultades encontradas a la hora de elegir un método de participación apropiado en una situación concreta, es que muchas evaluaciones utilizan criterios distintos. Por eso, para poder comparar unos procesos o métodos con otros, los criterios de

evaluación deben definirse previamente. Por lo tanto, esta evaluación comienza con la definición de los criterios más apropiados para valorar a) el éxito del proceso de participación y b) la calidad de las redes bayesianas como herramienta de participación.

a) Criterios utilizados para valorar el éxito del proceso de participación.

En los objetivos, tanto de la tesis, como de este apartado, se establecen una serie de objetivos para el proceso de participación. El grado de consecución de ellos es la referencia que se utiliza para evaluar el éxito que ha tenido dicho proceso. Las definiciones de los criterios para evaluar el éxito del proceso de participación, se han obtenido de la siguiente bibliografía: (1) Webler *et al.*, 1995; (2) Beierle, 1998; (3) Beierle and Konisky, 2000; (4) Rowe and Frewer, 2000; (5) Webler *et al.*, 2001; (6) Coleto *et al.*, 2003; (7) Rowe and Frewer, 2004; (8) Llamas, 2005; (9) Burguess and Chilvers, 2006; (10) Lynam *et al.*, 2007. En cada criterio se indica, con números, la bibliografía concreta que se ha utilizado para su definición:

Criterio nº 1. Información útil: Crear información útil para tomar decisiones (4, 7, 9, 10).

Criterio nº 2. Comprender mejor las preocupaciones de los demás: Conocer mejor las preocupaciones y propósitos de los demás grupos de interés (2, 5, 9).

Criterio nº 3. Mejorar el conocimiento del sistema representado: Informar y educar a los participantes acerca de los temas más importantes (1, 2, 5, 9, 10).

Criterio nº 4. Incluir la opinión de los participantes en las decisiones: Discutir sobre las opiniones, las preocupaciones y las preferencias de los participantes, para que sean analizados e incluidos en las decisiones (2, 3, 5, 9).

Criterio nº 5. Garantizar la credibilidad y legitimidad de los resultados: Los participantes se creen los resultados, porque son lógicos y representativos y se acercan a la realidad (9).

Criterio nº 6. Aumentar la transparencia de datos: Reducir la confusión entre las distintas fuentes de datos (6, 8).

Criterio nº 7. Aumentar la confianza en las instituciones: Aumentar la seguridad en las instituciones como resultado del proceso participativo (en este caso, la Universidad y la CHG) (2, 3, 6).

La reducción de la atmósfera de conflicto entre los participantes, que es uno de los criterios identificados como importantes por los autores consultados y citados previamente, no se ha incluido entre los criterios de la evaluación porque ya se había conseguido en las reuniones anteriores organizadas por el proyecto NeWater.

b) Criterios utilizados para evaluar la calidad de la herramienta de participación utilizada.

Las definiciones de los criterios utilizados para evaluar a las redes bayesianas como herramienta para hacer procesos de participación pública, se han obtenido de la siguiente bibliografía: (1) Webler *et al.*, 1995; (2) Rowe and Frewer, 2000; (3) Rowe and Frewer, 2004; (4) Burguess and Chilvers, 2006; (5) Von Korff, 2006; (6) Lynam *et al.*, 2007. En cada

criterio se indica, con números, la bibliografía concreta que se ha utilizado para su definición:

Criterio 8. Estructurar el proceso de participación: Fijar claramente los objetivos y los límites del proceso; tener mecanismos apropiados para organizar las reuniones y la toma de decisiones (1, 2, 3, 4, 5).

Criterio 9. Identificar la ausencia de datos y las incertidumbres del sistema: Identificar áreas en las que se encuentre una falta, una deficiencia o una incertidumbre en la información disponible.

Criterio 10. Fomentar la comunicación y la discusión. Este criterio se refiere a la capacidad del método para asegurar el intercambio de información y de puntos de vista entre las partes interesadas.

Criterio 11. Representación visual: La parte visual de la herramienta debe facilitar la comprensión del sistema (6).

Criterio 12. Habilidades específicas: El método requiere que los organizadores tengan conocimientos previos del mismo (3).

Criterio 13. Recursos: Los participantes deben tener acceso a los recursos necesarios para aprovechar el proceso (3, 5).

Criterio 14. Formato de los resultados: Que la herramienta proporcione resultados en un formato que sea útil para los interesados (6).

Una vez que se han definido los criterios, existen diferentes formas de evaluar los procesos de participación: en base a la opinión de los investigadores, con cuestionarios o entrevistas a los participantes, o simplemente comentando algunos aspectos determinados (Rowe and Frewer 2004). En esta investigación se ha utilizado una combinación: (1) cuestionarios de evaluación contestados por los participantes, para obtener unos resultados cuantitativos; (2) entrevistas semi-estructuradas a los participantes, realizadas por teléfono; y (3) conclusiones teóricas de los investigadores, tal como hicieron Stewart *et al.*, 1984; Einsidiel *et al.*, 2001; y Henriksen *et al.*, 2007b.

Los cuestionarios (Anexo nº 10) se distribuyeron a los participantes durante una reunión en la que se presentaron todos los resultados finales del equipo español del proyecto NeWater, incluidos los resultados finales de la red bayesiana. Esta reunión se hizo en el marco de otro proyecto europeo, el SCENES, y fue organizada por el equipo de la profesora Consuelo Varela-Ortega (Departamento de Economía Agraria, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, de la Universidad Politécnica de Madrid). Se realizó en Ciudad Real, y a ella asistieron la mayoría de los participantes en el proceso de construcción de las redes bayesianas. Sin duda, es necesario agradecer especialmente a la profesora Varela-Ortega, a su equipo de investigación y al proyecto SCENES por dar la posibilidad de participar en dicha reunión, y por supuesto, por haber podido realizar la presente evaluación con ellas.

En total, 15 personas rellenaron los cuestionarios, lo que se consideró suficientemente representativo. El cuestionario (Anexo nº 10) tenía tres preguntas abiertas y diez preguntas con las posibles respuestas: "De acuerdo/ En desacuerdo / No sabe".

4.5 INCORPORACIÓN DE LAS OPINIONES DE LOS PARTICIPANTES EN LA RED BAYESIANA

Al comparar las 6 redes bayesianas construidas a lo largo del proceso de participación (Figuras 4.5 a 4.10), se pueden encontrar ciertas diferencias, que denotan tanto el proceso de construcción, como la aportación de las partes interesadas, y la evolución del pensamiento de los participantes.

4.5.1. Redes bayesianas construidas durante las dos primeras reuniones con los interesados.

Como resultado de las dos primeras reuniones (los días 10 y 16 de mayo de 2007) se obtuvieron dos redes bayesianas distintas, cada una de ellas construida durante cada una de las dos reuniones (Red nº 1 y nº 2 en las figuras 4.5 y 4.6, respectivamente). En estas redes bayesianas había muchas variables, entre las que destacaban cinco variables más importantes, que además aparecieron en las dos redes:

1. Distribución regional de cultivos
2. Rentabilidad agrícola, rendimientos
3. Volumen de extracciones
4. Bienestar social, que se ha introducido posteriormente en la red bayesiana como número de agricultores (UTAs)
5. Integridad ecológica, que se ha introducido como recuperación del nivel del acuífero

En estas dos primeras reuniones era importante que apareciera el mayor número de variables posibles, para asegurar que se tenían en cuenta todos los factores que intervienen en el problema. Por eso las dos redes tienen un número de variables muy alto. Además, como se iban construyendo durante la reunión, según aparecían las variables en el debate, no hubo un proceso para asegurar la coherencia de las relaciones, por lo que estas redes son un poco caóticas.

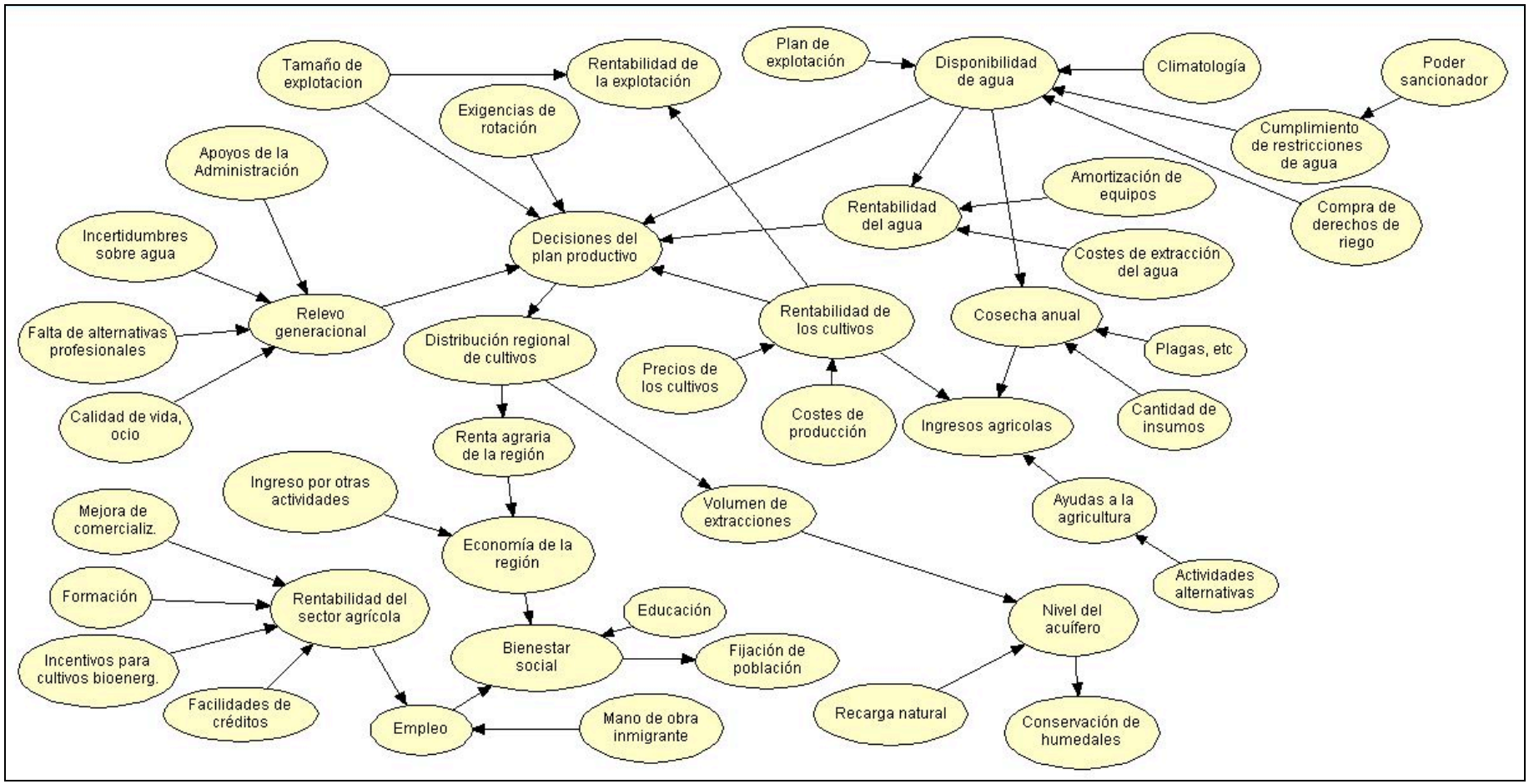


Figura 4.5. Red bayesiana nº 1, construida durante la reunión a la que asistieron representantes de sindicatos agrarios, representantes de las comunidades de usuarios de agua y representantes de la Consejería de Agricultura de Castilla la Mancha , celebrada en la Delegación Provincial de Agricultura de Ciudad Real, el 10 de Mayo de 2007.

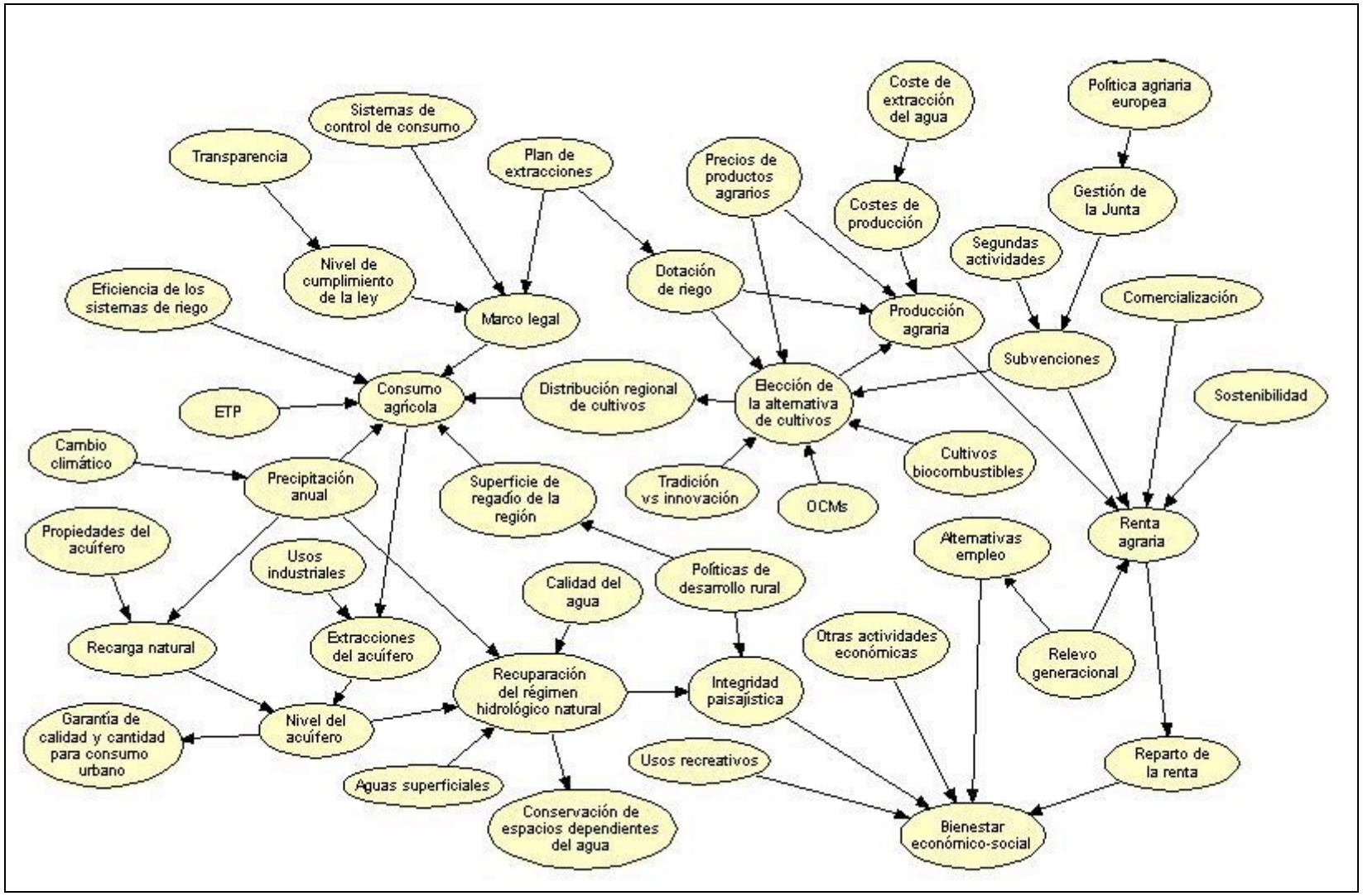


Figura 4.6. Red bayesiana nº 2, construida durante la reunión a la que asistieron representantes de grupos ecologistas y representantes de la Confederación Hidrográfica del Guadiana celebrada en la Universidad Complutense de Madrid, el 16 de Mayo de 2007.

4.5.2 Integración de las dos redes bayesianas iniciales (1 y 2) en una sola red bayesiana (nº 3), y los cambios detectados entre ellas.

Con las dos primeras redes y tras un proceso de reflexión y análisis, realizado por el equipo de investigación, se diseñó una nueva red bayesiana (red bayesiana nº 3, Figura 4.7). En la red nº 3 se trató de incluir el mayor número de variables posibles, integrando las variables de las dos redes bayesianas. Además se trató de relacionarlas de forma más coherente.

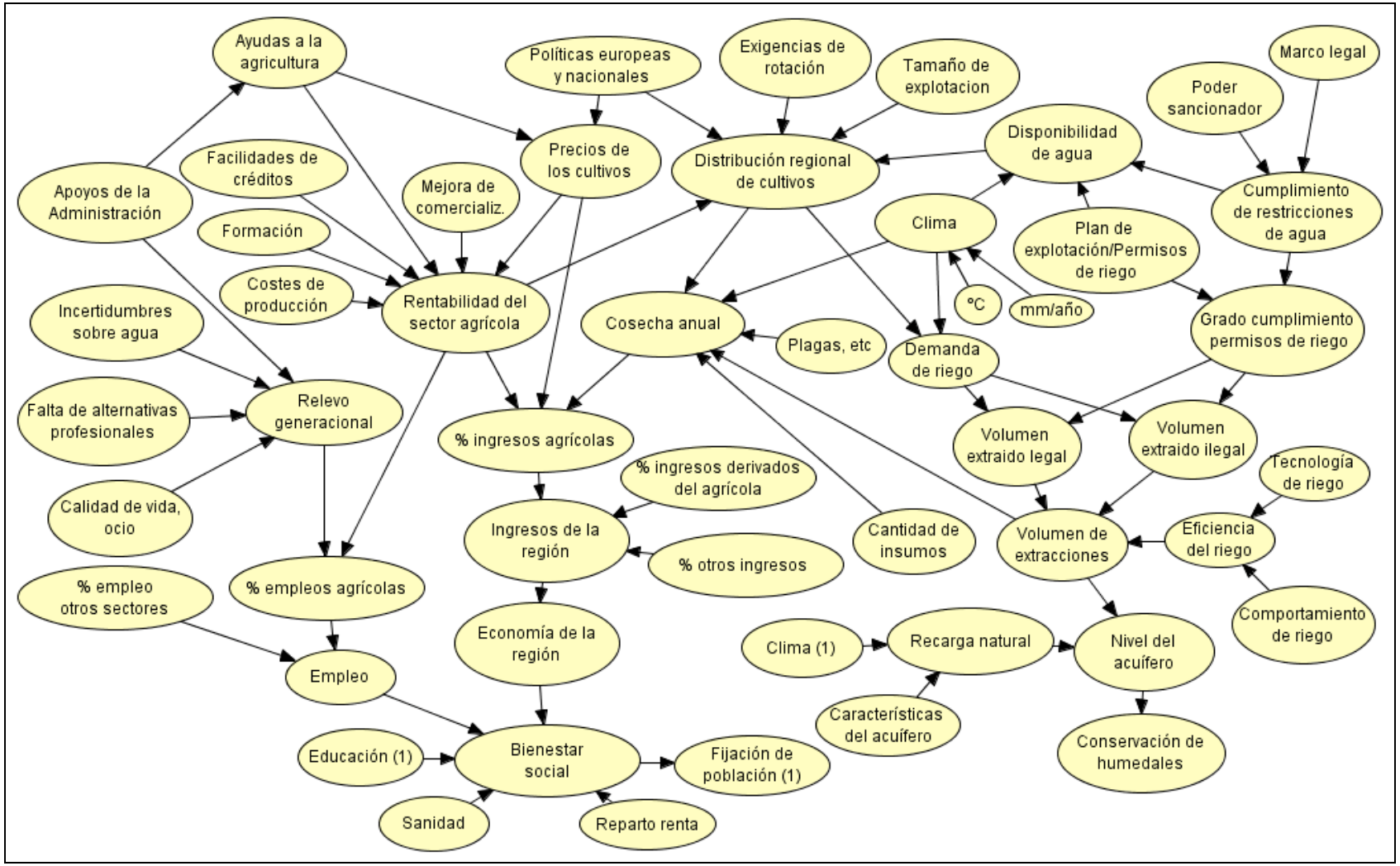


Figura 4.7. Red bayesiana nº 3, elaborada con el resultado de las primeras dos redes bayesianas, 31 de mayo de 2007.

4.5.3 Red bayesiana nº 4, resultado de introducir los primeros datos.

Este paso no contó con la participación de los grupos de interés, pero se explica por considerarse necesario para entender el proceso completo. Partiendo de la red nº 3, se comenzó a completar los estados de las variables, y algunas de sus probabilidades. Durante una reunión de cinco días en Dinamarca, se completaron los datos necesarios para hacer funcionar por primera vez la red bayesiana, es decir, para hacerla operar, y obtener las distribuciones de probabilidad de las variables objetivo. De esta forma se pudieron comprobar fallos de la red, variables que no eran necesarias o que era necesario incluir aunque anteriormente no se viese necesario.

Esta red redujo mucho el número de variables (Figura 4.8, red bayesiana nº 4), para intentar resumir el problema en el menor número de variables posibles, ya que cuanto menor sea el número de variables, más fiable es una red bayesiana (para más información, consultar Capítulo 3: "Metodología"). Se mantuvieron las cinco variables principales detectadas en la fase anterior, y se añadieron las que se vieron imprescindibles.

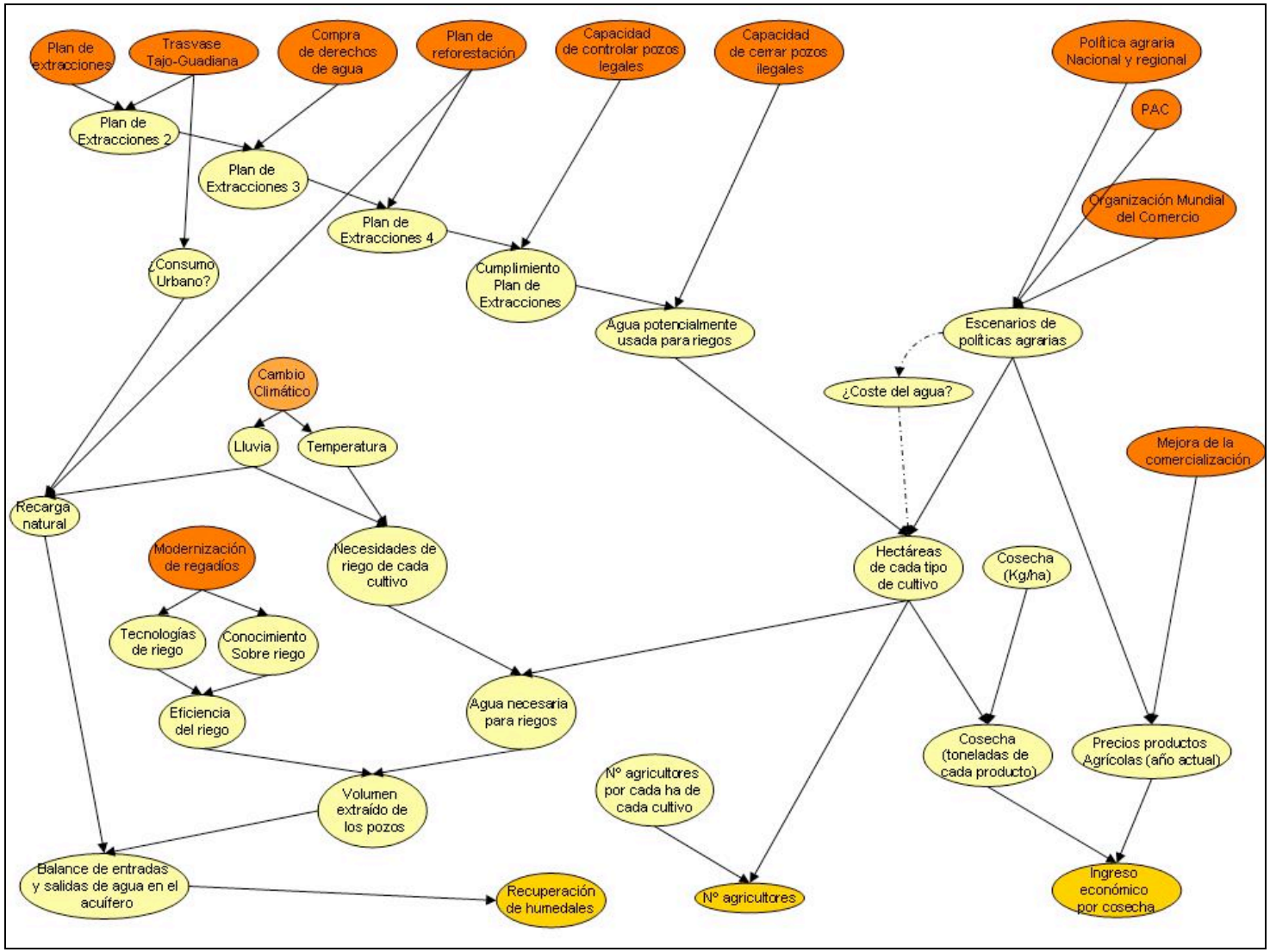


Figura 4.8. Red bayesiana nº 4, 11 de enero de 2008.

4.5.4. Red bayesiana nº 5, como resultado de las incorporaciones hechas durante las entrevistas.

La red bayesiana nº 4 fue presentada a las partes interesadas durante las entrevistas realizadas personalmente, en enero de 2008. Tras incorporar los cambios sugeridos por los entrevistados, la red bayesiana obtenida fue la red bayesiana nº 5 (Representada en la Figura 4.9).

Los principales cambios que se pueden observar son:

- A escala regional, los entrevistados dijeron que el precio ofertado por la administración no iba a ser el único factor determinante en la compra de los derechos de uso de agua. También influirían otros factores, como la edad del agricultor, si era agricultor a título principal o a tiempo parcial, el tipo de cultivos que tuviese, el precio de cada cultivo, y un conjunto mayor de variables. Al no conseguir representar estos factores, ni la importancia de cada uno, se decidió que la cantidad de derechos comprados fuese una "variable de entrada", es decir, que se introdujese directamente por el usuario de la red bayesiana, para estudiar este factor de la forma "qué pasaría si". Es decir, se decidió evaluar las consecuencias que tendría la compra de diferentes cantidades de derechos. Posteriormente, fueron los propios participantes quienes decidieron qué cantidad de derechos pensaban que sería más probable que se compren finalmente. Las variables que representan los derechos comprados se han llamado "Compra de derechos de agua" y "Plan de forestación".

- Se decidió prescindir de las variables relativas a los eventos catastróficos para los cultivos, ya que se consideró que tales eventos seguirán ocurriendo en el futuro, y debido también al hecho de que no se están evaluando las políticas para mitigarlos o para tenerlos en cuenta.

- El agua dejó de determinar la variedad agrícola plantada: como no hay mucho control por parte de la administración hidráulica, los agricultores no se ven muy limitados por el agua que tienen disponible legalmente. Además, no suelen cambiar de un año a otro los cultivos leñosos a hortícolas o a cereales (y viceversa) en función del agua disponible, si no más bien en función de los precios y los costes de cada cultivo. Las explotaciones tienen una estructura que cambia relativamente poco (entre leñosos, cereales y hortícolas), aunque si cambian más frecuentemente el tipo de cereal y el tipo de culitvo hortícola. Es decir, en función del mercado agrario o las ayudas públicas, para lo que se introdujo la variable "Escenarios de mercado y políticas agrarias".

- Al principio los participantes distinguieron entre tecnología de riego y conocimiento de la tecnología de riego. Finalmente se integraron ambas variables en sólo una, que servía para evaluar las consecuencias de que los planes de modernización sean efectivos o no.

- También se decidió añadir una variable que incluyera posibles nuevos regadíos ilegales, porque la mayoría coincidían en que podía seguir pasando.

- Una diferencia que no aparece en las figuras, pero que es una importante aportación de los participantes, es que recomendaron cuantificar la compra de derechos de

agua como superficie y no como volumen. Este planteamiento trajo consigo un giro completo a la red, que desde ese momento pasó a ser mucho más representativa de la realidad.

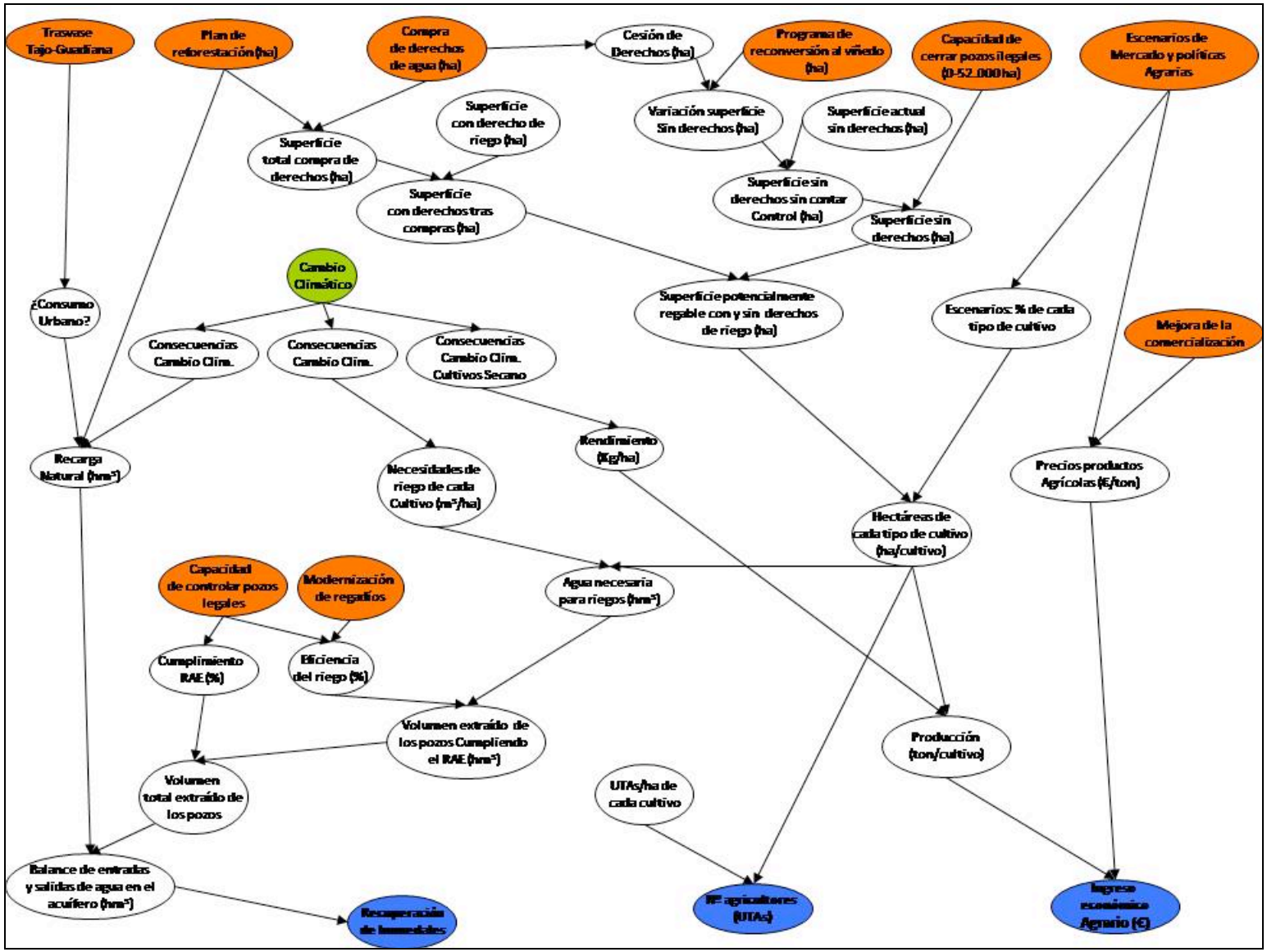


Figura 4.9. Red bayesiana nº 5, elaborada y presentada a las partes interesadas el 5 de febrero de 2008.

4.5.5 La red bayesiana nº 6, construida tras la tercera reunión con los grupos de interés. .

La red bayesiana nº 5 se presentó en la reunión del 5 de febrero de 2008. Allí se explicó que el equipo investigador había utilizado la información y las opiniones de las partes interesadas de las actividades anteriores, como datos y como orientación para construir una red única. También se explicaron los criterios que habían guiado la construcción de dicha red única (la nº 5).

Tras ella, se hicieron los siguientes cambios y como resultado se obtuvo la red bayesiana nº 6 (Figura 4.10):

- Se decidió incluir todos los usos de agua. Es decir, además del agrícola, se incluyeron los "Usos urbanos" y "Usos industriales" del agua del acuífero.

- Se decidió incluir la variable "Nuevos usos del agua", que representaba por ejemplo a nuevos campos de golf, a la industria de energías renovables, a grandes instalaciones turísticas… La mayoría de los participantes estaba preocupado por estos nuevos usos.

- También se decidió incluir la "Productividad" de los cultivos (€/ha).

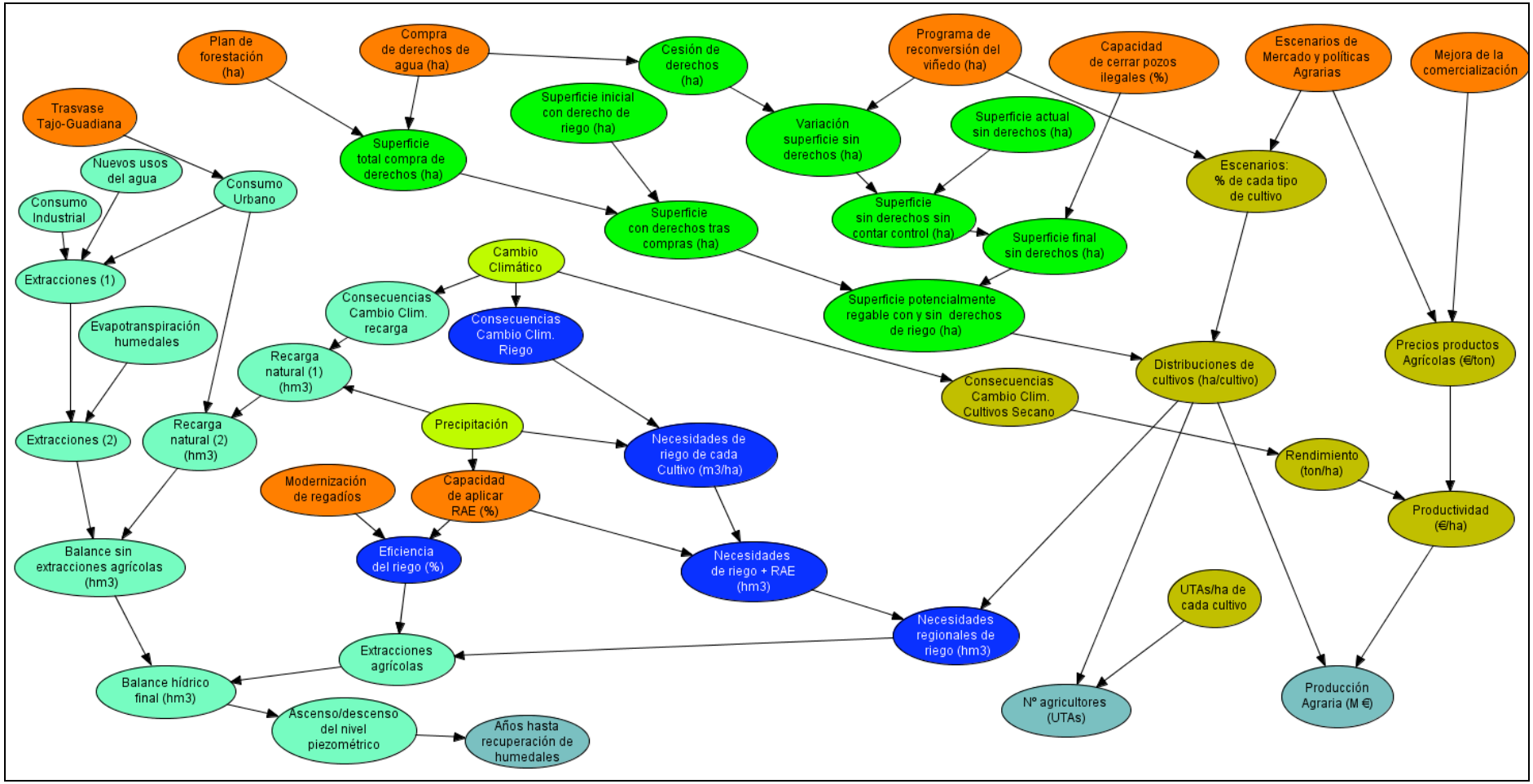


Figura 4.10. Red bayesiana nº 6, presentada a las partes interesadas el día 29 de abril de 2008.

4.5.6 Red bayesiana final.

La nueva red bayesiana (Figura 4. 11) se volvió a presentar en la última reunión con las partes interesadas, celebrada el 29 de abril de 2008 en la Universidad Complutense de Madrid. El último cambio importante fue incluir también los ingresos que tendrán los agricultores del acuífero por la ejecución de las medidas del PEAG (compra de derechos y plan de forestación) y también por los nuevos cultivos en secano que aparezcan por la venta de derechos.
Las diferencias generales también se pueden observar en la Figura 4.12, en la que se representan las cuatro últimas redes bayesianas comentadas.

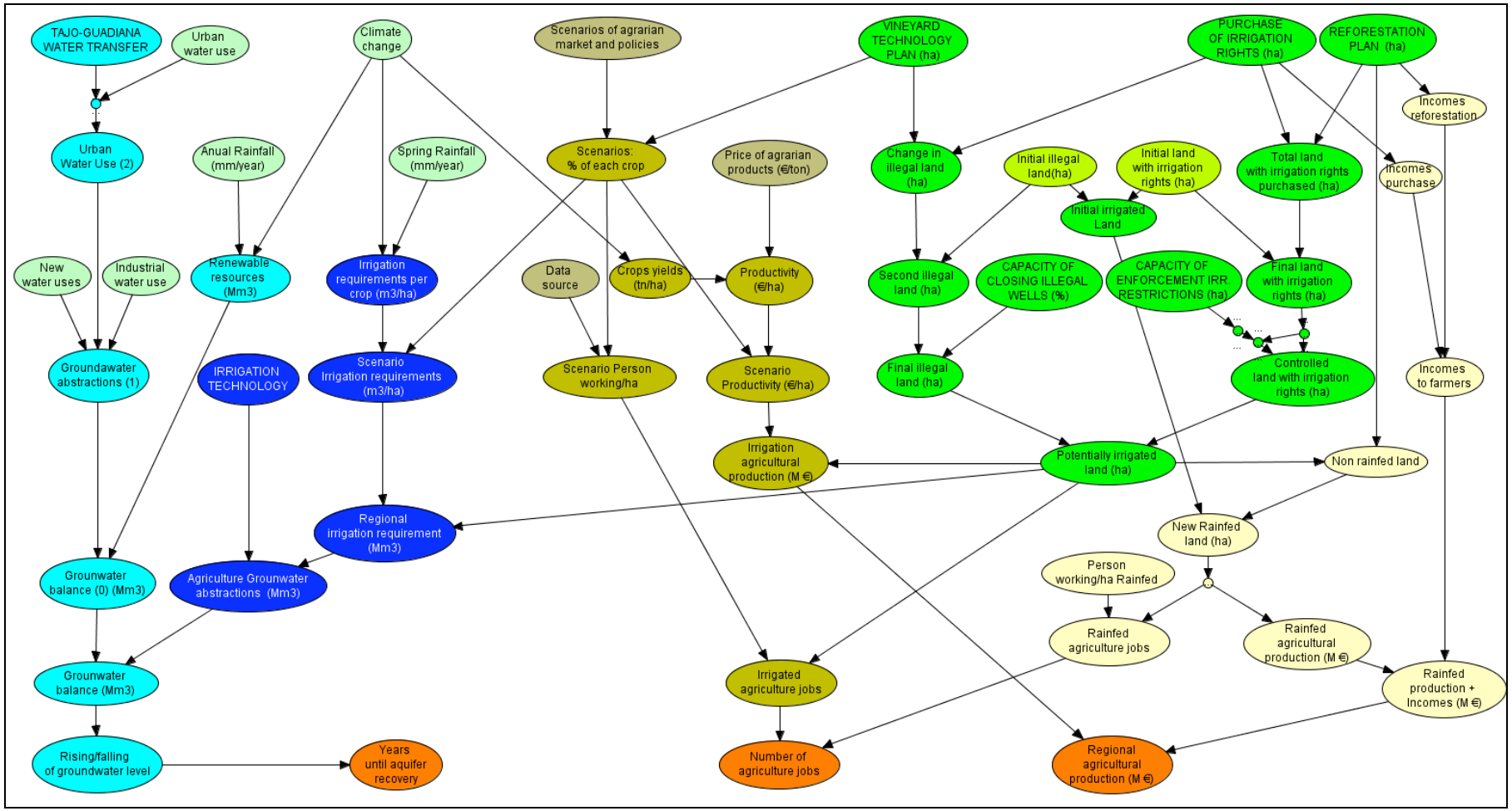


Figura 4.11. Red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental final. Se puede leer mejor en la Figura 5.1, del capítulo nº 5, "La red bayesiana diseñada para el acuífero de la Mancha Occidental".

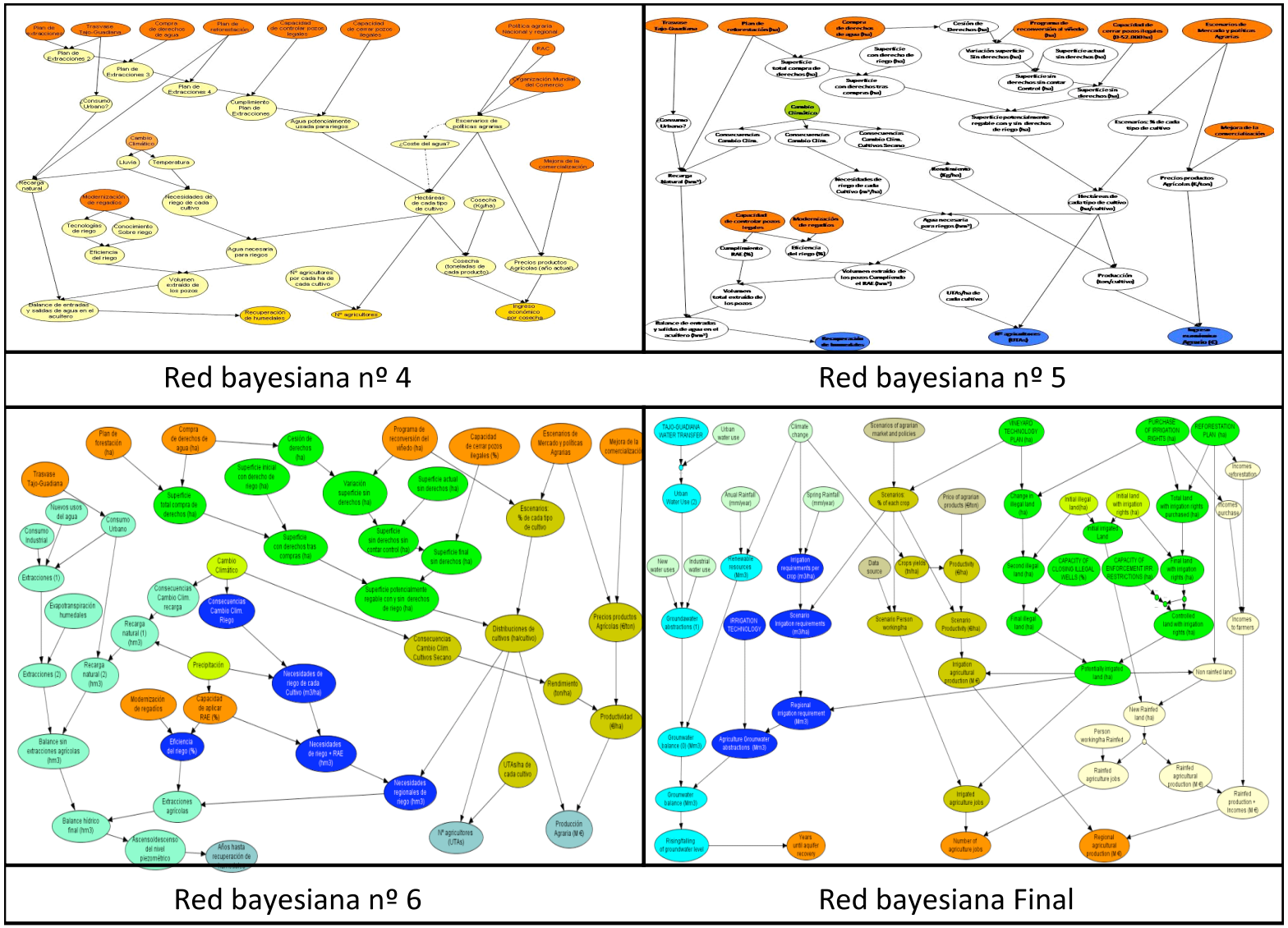


Figura 4.12. Comparativa, en una página, de las cuatro últimas redes bayesianas.

4.6 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

A continuación, primero se presentan los resultados de evaluar el proceso de participación y posteriormente los resultados obtenidos al evaluar las redes bayesianas como herramienta de participación.

4.6.1 Evaluación del proceso de participación

Gracias a las reuniones que organizó el NeWater durante los años 2005 y 2006, los participantes disponían de una plataforma de confianza entre ellos y con el equipo investigador de la UCM, dirigido por el profesor Llamas, que se prestó para realizar un proceso de participación más complejo, en el que se podía construir un sistema para ayudar a tomar decisiones, y en este caso se eligió la herramienta de las redes bayesianas.

Las respuestas de los participantes a las preguntas del cuestionario, formuladas con la intención de cuantificar el grado en el que se han alcanzado los criterios definidos anteriormente, están recogidos en la figura 4.13. En general, las respuestas expresan que el proceso ha tenido éxito.

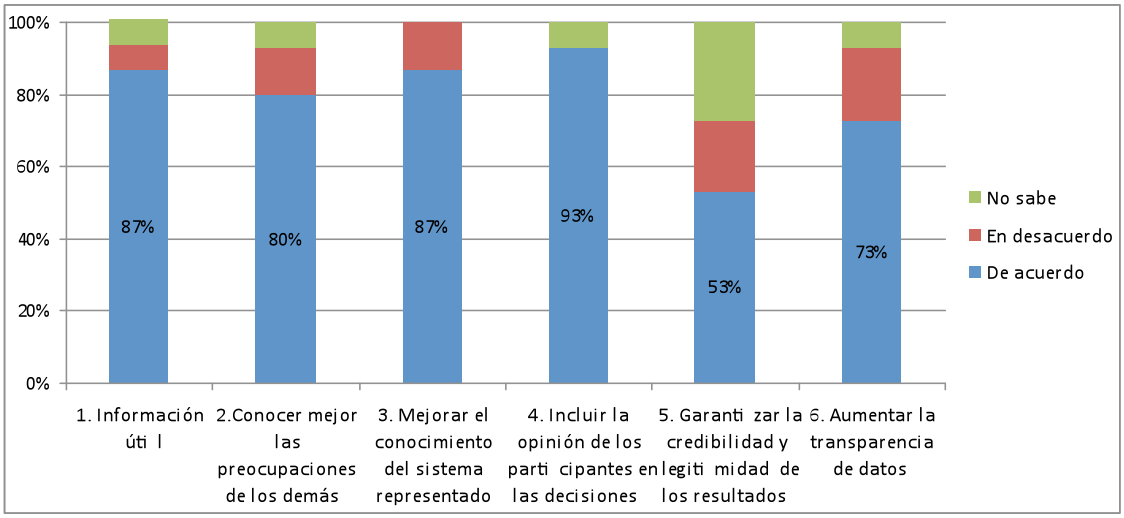


Figura 4.13. Nivel en el que se han alcanzado los objetivos del proceso de participación, según las respuestas de los participantes a la encuesta.

El ultimo objetivo, "Aumentar la confianza en las instituciones" (criterio nº 7), no se evaluó en los cuestionarios, si no en las entrevistas telefónicas. Este es un punto muy importante en el área de estudio porque la mayoría de los grupos de interés han protestado enérgicamente contra las actuaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG) desde hace décadas. Por tanto, ha sido positivo ver la actitud de la CHG durante todo el proceso, ya que han sido uno de los participantes más activos. Consideramos que, últimamente, la confianza que los grupos de interés tienen en la CHG ha aumentado sensiblemente, posiblemente tras comprobar el esfuerzo que ha puesto por aprobar el PEAG, y también por tener una actitud más abierta y constructiva que en tiempos anteriores, manifestada por un diálogo abierto, una actitud comprometida y un interés por buscar soluciones contando con el parecer de las partes interesadas. Probablemente, la actitud de colaboración que ha mostrado la CHG durante el proceso de construcción de la

red bayesiana, ha contribuido a aumentar la confianza de los grupos de interés en la capacidad de la CHG para gestionar los problemas de gestión hídrica a los que se enfrenta.

4.6.2 Evaluación de las redes bayesianas como herramienta de participación

En los cuestionarios se incluyeron tres preguntas relativas a las posibilidades de las redes bayesianas para utilizarlas como método de participación. Las respuestas a estos tres criterios se incluyen en la Figura 4.14.

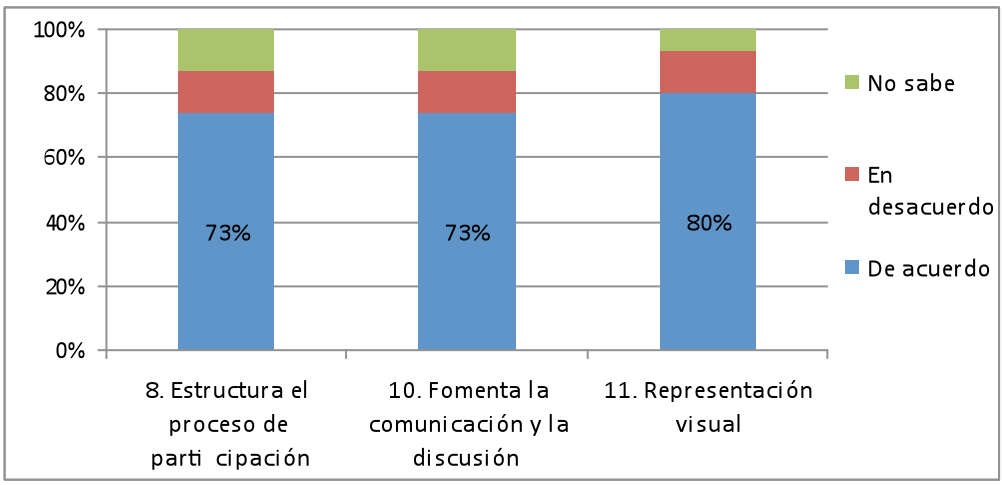


Figura 4.14. Respuestas de los cuestionarios a las preguntas sobre el potencial de las redes bayesianas para ser un buen método de participación.

Aunque la mayoría de los participantes creen que las redes bayesianas son útiles para estructurar las reuniones (el 73% está de acuerdo), uno de ellos comentó que en el presente caso "consiguieron organizar las discusiones hasta un cierto punto, pues hay que tener en cuenta que, en este contexto latino, la gente muchas veces se enrollaba o comenzaba a discutir".

Tanto en las entrevistas telefónicas como en opinión de los investigadores, se ha observado que las redes bayesianas son útiles para "identificar la ausencia de datos y las incertidumbres del sistema" (Criterio nº 9). Uno de los participantes comentó que las redes bayesianas habían servido para mostrar la gran incertidumbre que existe en el área real que se riega cada año, ya que puede ser, dependiendo de la fuente, 130.000 o 260.000 hectáreas. Otro participante opinó que "son útiles para combinar datos de diferente naturaleza, que permitían integrar datos muy diferentes que hasta entonces se encontraban dispersos y sin relación entre sí". Además, esto permitió detectar qué variables necesitan más datos para conocer mejor su estado.

En este proceso de participación se ha llegado a la misma conclusión a la que han llegado estudios anteriores (Lynam *et al.*, 2007): se necesita que alguien conozca bien cómo funcionan, y se necesita explicar bien a los participantes cómo funcionan y cómo se construyen (criterio nº 12). El tiempo fue claramente el recurso limitante durante las reuniones (criterio nº 13), algo detectado también en otros procesos con redes bayesianas (Cain *et al.*, 2003; Henriksen *et al.*, 2007b).

En cuanto al "formato de los resultados" de las redes bayesianas (criterio nº 14), que son distribuciones de probabilidad, los participantes identificaron ventajas e inconvenientes. Por

una parte, las distribuciones de probabilidad hacen que el nivel de incertidumbre sea expresado claramente. Por otra parte, la gente está más familiarizada a usar números enteros, lo que en ocasiones dificultó la comunicación e incluso la comprensión de los resultados. (Para más información consultar el capítulo 3, "Metodología").

4.6.3 Discusión de los resultados

A continuación se comparan los resultados obtenidos con estudios anteriores. Después se identifican algunas características propias de las redes bayesianas, así como algunas desventajas encontradas. Finalmente se explican las limitaciones de la evaluación realizada.

El criterio nº 4, que mide el grado en el que se ha logrado "Incluir la opinión de los participantes en las decisiones", es decir, en la red bayesiana, es el que más personas coinciden en que se ha logrado (el 93% están de acuerdo con esta afirmación, ver Figura 4.15). Por tanto, se puede decir que las redes bayesianas han conseguido alcanzar este objetivo, que es uno de los más importantes en los procesos de participación (Bacon *et al.*, 2002; Lynam *et al.*, 2002). Algunos autores (Cain *et al.*, 2003) han cuestionado que gente que no sea gestora o política pueda llegar a involucrarse en la construcción de las redes bayesianas. En este caso, en cambio, algunos de los que más han participado han sido los agricultores y los ecologistas. Ambos grupos han mostrado un gran interés en el proceso y han proporcionado información importante.

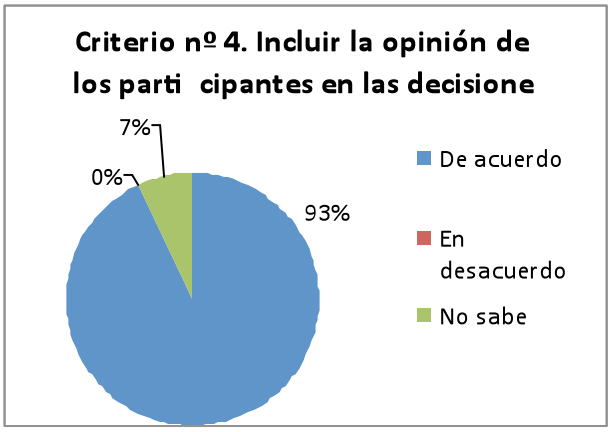


Figura 4.15. Proporción de personas que estaban de acuerdo o en desacuerdo en que las redes bayesianas permiten "Incluir la opinión de los participantes en las decisiones".

Según los resultados de los cuestionarios, el objetivo que ha tenido un peor resultado es "Garantizar la credibilidad y legitimidad de los resultados" (criterio nº 5), con el que coincide sólo la mitad de los encuestados (53%, Figura 4.16). Probablemente se debe a que los resultados indican que se requieren medidas drásticas para lograr la recuperación del acuífero: es necesario ejecutar un amplio conjunto de medidas, con un alto grado de éxito. Y también a que algunas de esas medidas no son del agrado de todos los participantes en las encuestas. Si embargo, la mayoría de los participantes (87%, Figura 4.16) creen que el proceso "ha sido útil para ellos y para sus organizaciones" (criterio nº 1). Estos resultados demuestran, por tanto, que el proceso de construcción de la red bayesiana es en sí mismo, más importante que los resultados que se obtengan finalmente. Los participantes en un estudio con redes bayesianas organizado por Lynam *et al.* (2002) también pensaron que, aunque los resultados no fuesen totalmente fiables, la red bayesiana construida si lo era. Es decir, que además del proceso, la propia red también es útil una vez construida, porque

permite relacionar variables de naturaleza distinta, y ver sus relaciones gráficamente y también numéricamente. Y aunque los resultados no sean totalmente exactos, sirven para saber de forma aproximada cómo pueden influir unos en otros. Por tanto, y tal como creen los participantes (87%, Figura 4.16), las redes bayesianas sirven para "mejorar el conocimiento que los participantes tiene del sistema representado" (criterio nº 3), en este caso, el conocimiento de la gestión del agua en el acuífero de la Mancha Occidental.

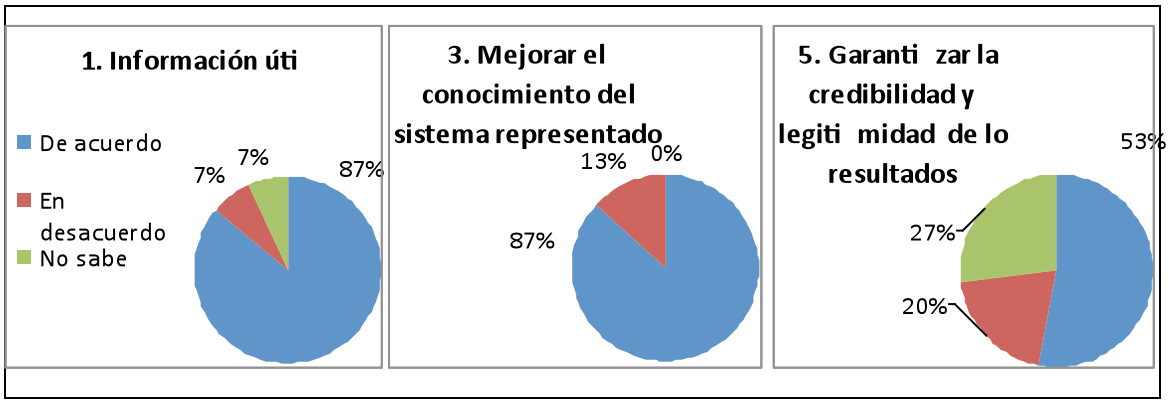


Figura 4.16. Respuestas de los participantes a los criterios nº 1, 3, y 5.

En las respuestas a los cuestionarios los participantes coinciden en afirmar que ha servido para conocer mejor las preocupaciones e intereses de los demás grupos de interés (Figura 4.17), algo que también observaron Henriksen *et al.* (2007b) y Cain *et al.* (2003).

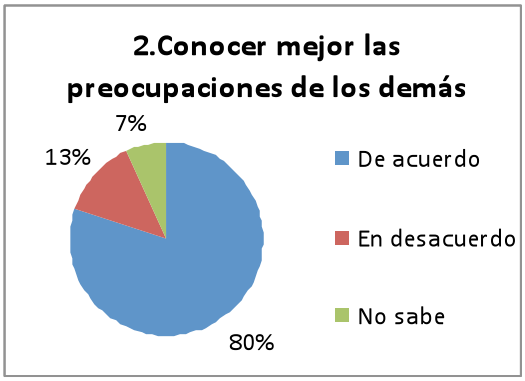


Figura 4.17. Proporción de personas que estaban de acuerdo o en desacuerdo en que las redes bayesianas permiten "conocer mejor las preocupaciones de los demás participantes".

Una de las grandes ventajas de las redes bayesianas es que sirven para "estructurar un proceso de participación" (Figura 4.18). Por ello pueden ser muy útiles en España, donde no existe una cultura de la participación pública (Hernández-Mora 2007, Espluga y Subirats, 2008), y dicha cultura resulta ahora especialmente necesaria en el marco de la aplicación de la Directiva Marco del Agua (DOCE, 2000).

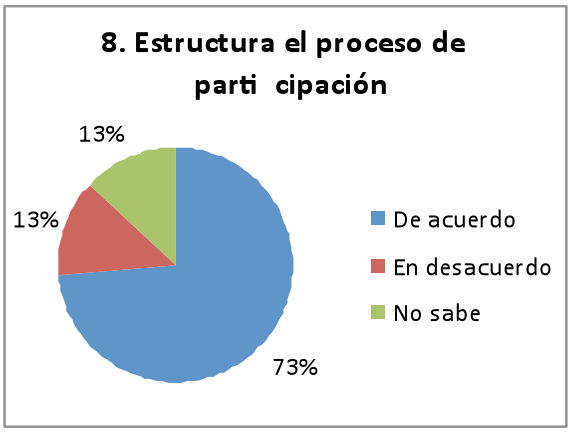


Figura 4.18. Respuestas de los participantes en el cuestionario, a la pregunta sobre si las redes bayesianas estructuran el proceso de participación.

Otra ventaja de las redes bayesianas es su "parte visual", que hace que se entiendan mejor las relaciones entre las variables. Un 80% de los encuestados está de acuerdo con esta afirmación (Figura 4.19), que también fue positivamente percibida en Henriksen and Barlebo (2008). La parte visual de las redes bayesianas ha sido explicada en el capítulo "Metodología".

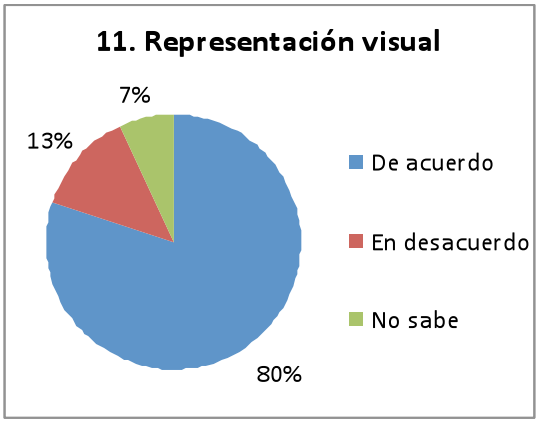


Figura 4.19. Respuestas de los participantes al criterio nº 11.

La simplificación que se hace de la realidad al construir una red bayesiana ayuda a los participantes a entender el funcionamiento del sistema. Sin embargo, la simplificación también tiene desventajas. En este caso, los participantes querían introducir en la red todos los problemas relacionados con la gestión del agua en la zona, algo que no se pudo hacer para simplificar la realidad. Por ejemplo, no se introdujo la calidad del agua ni la degradación de los cauces de los ríos. Los participantes comprendieron que introducir también estos aspectos, habría hecho la red bayesiana demasiado complicada para el tiempo y los recursos disponibles.

El "formato de los resultados" (criterio nº 14), en forma de distribuciones de probabilidad, permite expresar las incertidumbres que afectan al sistema de forma explícita. Sin embargo, trabajar con probabilidades tiene sus dificultades. Lynam *et al.* (2007), por ejemplo, notó que era aburrido para los participantes. En el presente caso, uno de los entrevistados compartía dicha opinión, al decir que "hablar sobre números resulta árido". Por eso, en muchas ocasiones es preferible manejar magnitudes cualitativas (mucho, poco, medio,

etc.), y posteriormente traducir dichas expresiones a números, en la red bayesiana. Anderson (1998) propone que puede facilitar la comprensión de las probabilidades "de evento único", como por ejemplo "25%", el traducirlas a frecuencias, que en el ejemplo anterior sería "uno de cada cuatro". Será interesante comprobar estas diferencias en futuros estudios.

En relación con lo que se acaba de explicar, la construcción de las tablas de probabilidad condicional (TPC) también tiene sus dificultades. A los participantes les costaba asignar valores numéricos concretos a las relaciones entre variables. Esto es comprensible cuando se trataba de predecir los estados más probables de algunas variables en el futuro. Croke *et al*. (2007) comprobaron que a los expertos que participaron en la construcción de su red bayesiana les costaba asignar probabilidades a cuestiones que consideraban demasiado complejas. Precisamente por la existencia de probabilidades definidas de forma subjetiva, los resultados de esta red bayesiana deben valorarse de forma relativa entre sí, y no en términos absolutos.

Las opiniones sobre probabilidades que hacemos los humanos, frecuentemente fallan, normalmente aumentando la probabilidad de cada evento. La suma de las probabilidades de los distintos eventos posibles siempre es 1 (por definición). Un error muy repetido es que la suma de las probabilidades de las diferentes opciones que dice la gente, es mayor de 1. Si estos errores se han trasladado a la red bayesiana, éste podría ser una fuente de error. Para evitar este tipo de errores sirve precisamente el proceso de participación, ya que en las revisiones posteriores que realizan los propios actores interesados pueden revisar sus opiniones previas o corregir errores provenientes de otras personas.

La principal limitación que ha tenido la evaluación realizada ha sido que los cuestionarios eran muy breves, y apenas se dejó espacio para que los participantes anotaran sus impresiones. Se hizo así para no saturar a los asistentes de la reunión. También habría sido muy enriquecedor haber hecho una evaluación inicial, anterior a la construcción de la red, que habría permitido comparar las opiniones antes y después del proceso. De igual forma, sería muy interesante hacer una evaluación del proceso teniendo en cuenta las respuestas de cada perfil o tipo de participante (técnico de la administración, agricultor, ecologista, etc.).

Finalmente, se puede concluir que, aunque tienen ciertas limitaciones que deben ser conocidas previamente, las redes bayesianas si son útiles para llevar a cabo procesos de participación pública. Permiten tener en cuenta la opinión de los participantes, y sirven para que éstos mejoren su conocimiento tanto del sistema, como de las preocupaciones de los demás. También son útiles para estructurar un proceso de participación y llegar a unos objetivos deseados. Son especialmente útiles al estudiar problemas complejos, en el que intervengan variables de naturaleza muy distinta, y en el que haya incertidumbres importantes.

Entre las principales limitaciones de las redes bayesianas, cabe mencionar que se requiere a una persona que conozca la herramienta, que su construcción requiere cierto tiempo (aunque dependiendo de los objetivos el tiempo necesario puede variar), y que es necesario construir las tablas de probabilidad condicional facilitando la comprensión de las probabilidades mediante alguna de las formas propuestas al final de este capítulo.

CAPÍTULO 5. LA RED BAYESIANA DEL ACUÍFERO DE LA MANCHA OCCIDENTAL

En este capítulo se describe la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental. En el primer apartado se explica el diseño de la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental. En el segundo, se describen todas las variables que forman la red bayesiana, sus relaciones, sus estados y sus probabilidades. Hay un último breve apartado de consideraciones finales.

5.1 DISEÑO DE LA RED BAYESIANA: VARIABLES DEL MODELO Y SUS RELACIONES Y DIMENSIÓN ESPACIO-TEMPORAL

La figura 5.1 muestra la red bayesiana para la gestión del agua del acuífero de la Mancha Occidental. Esta red bayesiana representa gráficamente las relaciones entre las diferentes alternativas de gestión y entre las variables intermedias y las variables objetivo.

La red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental se ha construido para medir de forma integrada (es decir, teniendo en cuenta a la vez todas las variables que intervienen y las interrelaciones que hay entre ellas) las consecuencias que diferentes políticas pueden tener sobre la recuperación del acuífero, sobre la cantidad de dinero que entra a la región por la venta de las cosechas agrarias y sobre los empleos agrarios (Tabla 5.1). Éstas son las variables objetivo de la red bayesiana, que tienen un fondo naranja en la Figura 5.1

Tabla 5.1 Variables objetivo que representan las consecuencias ambientales, sociales y económicas que tendrá la gestión del agua en el acuífero de la Mancha Occidental.

Variables objetivo	**Posibles estados**	
	Mínimo	Máximo
Años hasta la recuperación del acuífero (desde 2015)	12 años (2027)	Nunca
Nº agricultores (UTAs)	5.000-10.000	40.000-50.000
Producción agraria bruta	90-250 M €	850-990 M €

Las políticas que se han tenido en cuenta son tanto actuaciones incorporadas en el Plan Especial del Alto Guadiana (PEAG), como políticas agrícolas de la administración regional y de organismos internacionales como la Unión Europea y la Organización Mundial del Comercio. (Tabla 5.2). Las variables que representan estas políticas se han escrito con letras mayúsculas en la Figura 5.1.

Tabla 5.2 Principales variables de entrada que representan las alternativas de gestión que intervienen en la gestión del agua del acuífero de la Mancha Occidental.

Variables de entrada que representan medidas de gestión	**Posibles estados**				
Plan de forestación	Máximo	Medio	Bajo	Mínimo	Actual
Compra de derechos de agua	Máximo	Medio	Bajo	-	Actual
Cumplimiento del RAE	Capacidad Mucho mayor	Mayor capacidad	-	-	Capacidad Actual
Plan de reconversión del viñedo	Máximo	Medio	-	Mínimo	Nada
Capacidad para cerrar pozos ilegales	Total	Bastante Mayor	Mayor	-	Actual
Escenarios de mercado y políticas agrarias	Escenario E "Sin cereales"	Escenario B "Vino de alta calidad"	Escenario D "Mayor rentabilidad"	Escenario C "Biocombustibles"	Escenario A "Actual"
Trasvase Tajo-Guadiana	Mayor que el actual	Actual			Menos que el actual

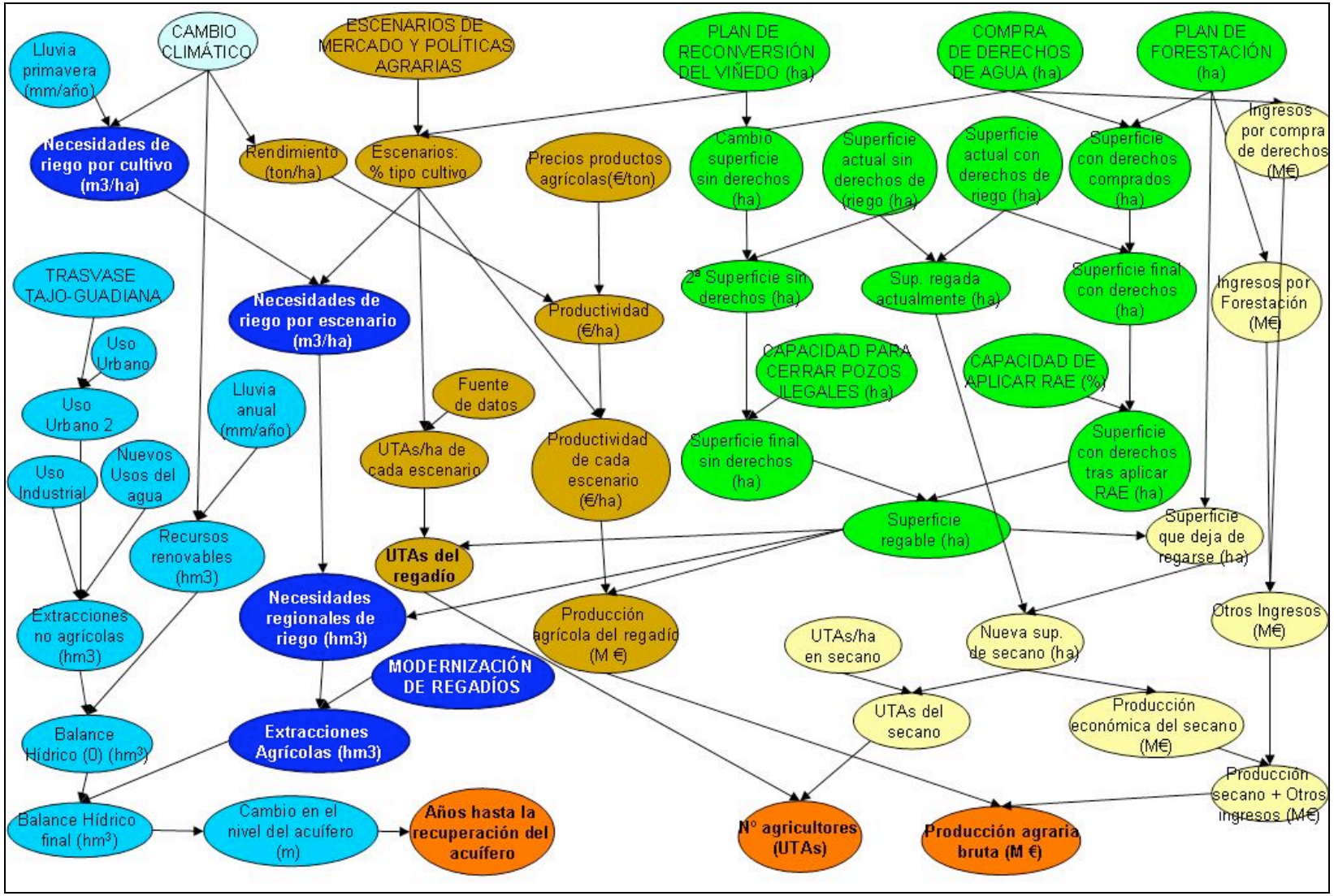


Figura 5.1. Red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental. En el Anexo nº 11 se muestra la figura de la red bayesiana tal y como se muestra en el programa HUGIN 6.9.

Además hay otra serie de variables de entrada, que no representan medidas de gestión, pero que representan diferentes situaciones iniciales, como las condiciones ambientales (cambio climático, sucesión de años de sequía o de años con muchas lluvias), la superficie de regadío que se considere que hay actualmente, condiciones socioeconómicas (precio de productos agrarios, trabajadores agrícolas por hectárea), y usos del agua que consumen menos del 10% del que se usa en el acuífero, y que se considera que tendrán una evolución independiente de las medidas de gestión evaluadas en esta red bayesiana (uso urbano, industrial y nuevos usos de agua) (Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Variables independientes de las medidas de gestión y sus estados.

Variables de entrada de condiciones iniciales	**Posibles estados**		
	Mínimo	Medio	Máximo
Cambio climático	Actualidad	Moderado (B2)	Severo (A2)
Lluvia anual	Año seco	Año medio	Año lluvioso
Lluvia de primavera	Primavera seca	Primavera media	Primavera lluviosa
Superficie actual con derechos de riego (ha)	90.000-110.000	170.000-180.000	200.000-215.000
Superficie actual sin derechos de riego (ha)	35.000-45.000	45.000-60.000	80.000-90.000
Precio de los productos agrícolas	Precios Bajos	Precios Medios	Precios Altos
UTAs/ha, según la fuente consultada	De Juan *et al.*, 2003	CONSEJ. AGRICULTURA	PEAG (CHG, 2008)
Uso urbano	½ Actual	Actual	Mayor al Actual
Uso industrial	Menor	Actual	Mayor
Nuevos usos del agua	-	Actual	Mayor

La escala temporal utilizada en esta red bayesiana es de un año, es decir, representa cómo funcionaría el sistema en un periodo de un año, cuantificando cuánta agua se extraería, cuál sería la producción agrícola, etc. Con este objetivo se han introducido todos los posibles valores o estados que puede tomar cada variable durante un año, como se explica en el siguiente apartado.

Para utilizar esta red bayesiana, y evaluar las consecuencias de las diferentes opciones de gestión, se debe seleccionar un estado para cada variable de entrada (de gestión o de situación inicial). A partir de los estados fijados, la red bayesiana va calculando los estados de las siguientes variables mediante las tablas de probabilidad condicional, y sigue calculando hasta llegar a obtener las distribuciones de probabilidad de las variables objetivo.

Para simular el efecto de las políticas hay que representar la red en el futuro, como si dichas políticas ya hubieran sido aplicadas. La mayoría de las medidas contempladas en el PEAG están planificadas para completarse en 2015, y a partir de ese año los presupuestos contemplan los gastos necesarios para mantener o continuar los cambios realizados. Simulaciones de este sistema a largo plazo contendrían una gran incertidumbre, porque muchas de las variables pueden cambiar considerablemente en un corto plazo de tiempo. Por estas razones, se ha decidido que la simulación de la red bayesiana sea una foto fija del sistema en 2015.

De esta forma se evalúa en qué situación se encontrará el sistema en 2015, es decir, hasta qué punto se han aplicado las medidas, y qué comportamiento tendrá el sistema: cuántas extracciones de agua y cuánta producción agrícola serán las más probables a partir de dicho año. La continuación de una situación similar a partir de ese momento definiría los años que tardaría en recuperarse el nivel del acuífero.

De este modo, las probabilidades de los diferentes valores que se ha asignado a cada variable son los más probables para 2015. Las fuentes de información utilizadas para asignar estos valores a las variables han sido diversas: parte de las probabilidades se han obtenido de series de datos, como los datos climáticos; otras, de las opiniones de las partes interesadas, como por ejemplo, la proporción de regadíos sin derechos de agua estiman que haya en 2015.

En la siguiente sección se describe el diseño de la red bayesiana y las relaciones entre sus variables. En la Tabla 5. 4 se han incluido todas las variables de la red bayesiana. Para facilitar su explicación se han agrupado en 5 grupos, en función su naturaleza y finalidad, que tienen diferentes colores en la Figura 5.1:

Grupo 1: Variables para obtener la superficie agrícola en regadío: color verde.
Grupo 2: Variables socioeconómicas de cultivos de regadío: color marrón.
Grupo 3. Variables socioeconómicas de cultivos de secano: color amarillo claro.
Grupo 4: Variables de tecnología y necesidades de riego: azul oscuro.
Grupo 5: Variables necesarias para el balance hidrológico: azul claro.

Tabla 5.4. Variables de la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental, en el orden en el que se describen en este capítulo, y agrupados por su naturaleza y finalidad.

GRUPO 1. VARIABLES PARA OBTENER LA SUPERFICIE AGRÍCOLA EN REGADÍO

1.	Plan de forestación (ha)
2.	Compra de derechos de agua (ha)
3.	Superficie con derechos comprados (ha)
4.	Superficie actual con derecho de riego (ha)
5.	Superficie final con derechos (ha)
6.	Capacidad de aplicar el RAE (ha)
7.	Superficie con derechos regable tras aplicar el RAE (ha)
8.	Plan de reconversión del viñedo (ha)
9.	Cambio superficie sin derechos (ha)
10.	Superficie actual sin derechos de riego (ha)
11.	2ª Superficie sin derechos (ha)
12.	Capacidad para cerrar pozos ilegales (ha)
13.	Superficie final sin derechos (ha)
14.	Superficie regable (ha)

GRUPO 2. VARIABLES SOCIOECONÓMICAS DE CULTIVOS DE REGADÍO

15.	Escenarios de mercado y políticas agrarias
16.	Escenarios: % de cada cultivo
17.	Cambio climático
18.	Rendimiento (ton/ha)
19.	Precios de los productos agrícolas (€/ton)
20.	Productividad (€/ha)
21.	Productividad de cada escenario (€/ha)
22.	Producción económica del regadío (Millones de euros)
23.	UTAs/ha de cada escenario
24.	UTAs del regadío

GRUPO 3. VARIABLES SOCIOECONÓMICAS DE CULTIVOS DE SECANO

25.	Nueva superficie en secano (ha)
26.	UTAs/ha en secano
27.	UTAs del secano

28.	Producción económica del secano (Millones de €)
29.	Ingresos por forestación (Millones de €)
30.	Ingresos por compra de derechos (Millones de €)
31.	Otros Ingresos (por la venta de derechos y la reforestación) (Millones de €)

GRUPO 4. VARIABLES DE TECNOLOGÍA Y NECESIDADES DE RIEGO

32.	Lluvia de primavera
33.	Necesidades de riego de cada cultivo (m^3/ha)
34.	Necesidades de riego por escenario (m^3/ha)
35.	Necesidades regionales de riego teóricas (hm^3)
36.	Modernización de regadíos
37.	Extracciones agrícolas (hm^3)

GRUPO 5. VARIABLES NECESARIAS PARA EL BALANCE HIDROLÓGICO

38.	Trasvase Tajo-Guadiana (hm^3)
39.	Uso Urbano (hm^3)
40.	Nuevos usos del agua (hm^3)
41.	Uso industrial (hm^3)
42.	Extracciones no agrícolas (hm^3)
43.	Lluvia anual (mm)
44.	Recursos renovables (hm^3)
45.	Balance hídrico (0) (hm^3)
46.	Balance hídrico final (hm^3)
47.	Variación del nivel del acuífero

VARIABLES OBJETIVO O DE SALIDA

48.	Producción agraria bruta (Millones €)
49.	Nº de agricultores (UTAs)
50.	Años hasta la recuperación del acuífero

5.1.1 Grupo 1: Variables para obtener la superficie agrícola en regadío

Son un grupo de variables que se utilizan para estimar la extensión que ocupará el regadío en el año 2015. Se parte de la superficie actual o inicial en regadío, que se verá afectada por las políticas de gestión agraria e hidráulica, y todas estas variables confluyen en la variable "Superficie regable". Estas variables tienen fondo verde en la Figura 5.1.

Los cultivos de regadío son los responsables del 90% de las extracciones de agua del acuífero de la Mancha Occidental. La eficiencia de dichos regadíos, aunque mejorable, es relativamente alta comparada con otros regadíos españoles, y un gran aumento de ella, aunque lo facilitaría, no permitiría por si sólo reducir las extracciones tanto como sería necesario. En cambio, una de las formas más directas para que disminuyan las extracciones de agua del acuífero es reducir la superficie de cultivos en regadío, y la CHG ha considerado que éste debe ser uno de los objetivos del PEAG. Para ello ha considerado diferentes medidas con presupuestos de 2.235 M€ hasta el año 2020 (CHG, 2008).

Este grupo de variables analiza cuánta superficie podría reducirse como resultado de diferentes niveles de éxito de dichas medidas. Entre las variables de este grupo se pueden diferenciar cuatro tipologías: unas representan las medidas del PEAG (Compra de derechos de uso de agua, Plan de forestación, Capacidad de aplicar el RAE, y Capacidad para cerrar pozos ilegales), hay otras variables "externas" (que no pueden ser controladas, como el Plan de Reconversión del viñedo), variables intermedias y la variable de salida, que es la "Superficie regable". La "Superficie regable" sirve a su vez como fuente para calcular otras

variables (la producción económica agrícola, el número de empleos en el regadío, y las extracciones de agua para regadío).

Las variables "Compra de derechos de agua" (810 M€) y "Plan de Forestación" (1.185 M€) representan a dos de las medidas principales del PEAG (CHG, 2008). En la red se han utilizado para representar cuánta superficie habrá dejado de tener derechos de riego en el año 2015 (una vez pasados 8 años desde la aprobación del PEAG), y el resultado de sumarlas se introduce en la "Superficie final con derechos". Posteriormente, ésta superficie es restada a la "Superficie actual de regadíos con derechos de uso de agua", y se obtiene la superficie de regadío con derechos de uso de agua que habría en 2015: "Superficie final con derechos".

El PEAG también contempla medidas para controlar la legalidad de las extracciones de agua subterránea, es decir, para hacer cumplir el Régimen Anual de Extracciones (RAE). Estas medidas forman parte del Programa hidrológico del PEAG, con un presupuesto de 240 M€ (CHG, 2008). El RAE se aplica en la superficie de regadíos que tienen derechos de riego, y una aplicación del RAE mayor que la actual, implicaría una reducción en la superficie que realmente sería regada, como se explica a continuación. Los agricultores con derechos de uso de agua tienen que cumplir el RAE; como éste fija unas dotaciones para riego por hectárea menores que las que se necesitan para sacar adelante un cultivo de regadío, los agricultores dejan de regar parte de la explotación para poder regar el resto con las dotaciones de agua que necesitan los cultivos. Por tanto, el éxito de estas medidas del PEAG, es decir, hacer cumplir el RAE, haría que no toda la superficie que tiene derechos de riego se regara. En la red bayesiana hay una variable que representa el nivel de cumplimiento del RAE: "Capacidad de aplicar RAE". Dependiendo del nivel de aplicación del RAE, parte de la "Superficie final con derechos" dejaría de ser regable. La parte que si seguiría siendo regable incluso cumpliendo el RAE se ha llamado "Superficie con derechos, regable tras aplicar RAE".

A continuación se pretende calcular la superficie en regadío que no tiene derechos de uso de agua. Para ello, se parte de la "Superficie actual sin derechos de riego". Esta superficie puede sufrir cambios, tanto aumentar como disminuir, para lo que se ha incluido una variable llamada "Cambio en la superficie sin derechos". Es posible que nuevas explotaciones de secano cambien a regadío a pesar de no tener derechos de uso de agua. A ello, puede o no contribuir el Plan de Reconversión del viñedo, diseñado para mejorar las instalaciones de riego del viñedo, pero que en ocasiones se utiliza para instalar regadío en tierras sin derechos. La frase anterior es conflictiva, la Consejería de Agricultura no la comparte, sin embargo el resto de las partes interesadas si la comparten, y por esa razón ha sido incluida. La variable que representa nuevas instalaciones de regadío sin derechos se ha llamado "Plan de reconversión del viñedo", a pesar de que en dicha variable se incluyen nuevos regadíos sin derechos que no tienen porqué estar vinculados con este plan.

Por otra parte, la compra de derechos de uso de agua, irá acompañada de una cesión de derechos a agricultores que actualmente no los tienen. Esta cesión supone una reducción de la superficie sin derechos (y un aumento en la superficie con derechos que ya ha sido contemplada en la "Compra de derechos de agua"). Por tanto, la variable "Cambio en la superficie sin derechos", es el resultado de combinar un aumento de la superficie sin derechos (por los nuevos regadíos ilegales), y una disminución (por la cesión de derechos). Dicha variable se combina con la "Superficie actual sin derechos de riego", y da como resultado una variable que se ha llamado "2ª Superficie sin derechos".

Este es el momento de tener en cuenta la capacidad de la CHG para controlar (cerrar) los regadíos que no tienen derechos de uso de agua. Si la capacidad de control aumenta en el futuro, la superficie sin derechos disminuirá. Por lo tanto, la "2ª Superficie sin derechos" se reducirá y, como resultado, quedará la "Superficie sin derechos final".

Finalmente, se suma la superficie en regadío que tiene derechos de uso de agua y la que no tiene, y se obtiene la "Superficie regable". Ésta es la superficie que se ha tenido en cuenta para calcular la "Producción económica del regadío" en la región, el número de agricultores trabajando en el regadío, y las necesidades de riego regionales.

5.1.2 Grupo 2: Variables socioeconómicas de cultivos de regadío

A continuación se explica el grupo de variables concernientes a los cultivos agrícolas de regadío, cuyo resultado son las variables "Producción económica del regadío" y "UTAs del regadío" (UTA es Unidad de Trabajo Agrícola, definida en la descripción de esta variable). Estas variables tienen un fondo de color verde en la Figura 5.1.

Para representar la evolución que puede sufrir el sector durante los próximos años se han diseñado unos "Escenarios de mercado y políticas agrarias". Para ello, se ha hecho un análisis de las políticas y mercados agrarios a nivel internacional, nacional y regional, para obtener cuatro escenarios representativos de los posibles cambios que puede sufrir el sector de aquí al año 2015. Estos escenarios influyen en el tipo de cultivos que se plantarán en 2015, ya que dependiendo de las ayudas públicas o de los precios internacionales, los agricultores cambian sus cosechas. Por eso cada escenario representa el porcentaje de la superficie del acuífero de la Mancha Occidental que ocuparía cada tipo de cultivo (cereales, hortícolas, viñedo, otros y barbecho) en 2015. La proporción que ocupa cada cultivo, influye en las medias regionales de la productividad agraria, de las UTAs por hectárea y de las necesidades de riego por hectárea.

El siguiente paso es calcular la productividad económica para una hectárea media, según el escenario considerado. Para ello, primero se calcula la productividad de cada tipo de cultivo ("Productividad" €/ha), a partir de multiplicar el "Precio de los productos agrarios" por los "Rendimientos" de cada cultivo. A su vez, los rendimientos están influidos por los posibles efectos del cambio climático en la zona: según la bibliografía consultada, se estima que el cambio climático suponga un pequeño descenso de los rendimientos en esta región. Una vez obtenida la "Productividad" de cada cultivo, sabiendo la proporción de cada cultivo (a partir de los "Escenarios agrarios"), se sabe cual sería la "Productividad de cada escenario" por hectárea.

La productividad por hectárea es posteriormente multiplicada por la "Superficie regable", calculada en el anterior grupo de variables. Así se obtiene la "Producción económica bruta del regadío".

En este grupo de variables también se calcula el número de empleos necesarios para cultivar el regadío. Esto se hace partiendo de los empleos necesarios para trabajar una hectárea de cada cultivo, que tienen diferentes valores según la fuente consultada. Por eso, a la variable se le ha llamado "Fuente de datos". Dicha variable se multiplica por la proporción de cada cultivo fijada en los "Escenarios agrarios". Así se obtiene las "UTAs por hectárea de cada escenario". Igual que en el caso anterior, al multiplicar los empleos para una hectárea tipo por la "Superficie regable", se obtiene el número de empleos agrarios que serían necesarios a lo largo de un año en las tierras de regadío ("UTAs del regadío").

5.1.3 Grupo 3. Variables socioeconómicas de cultivos de secano

Parte de las tierras que actualmente son regadío en el acuífero de la Mancha Occidental, pasarán a cultivarse en secano como resultado de la aplicación de las diferentes actuaciones del PEAG. Parte de las tierras que dejan de estar en regadío formarán parte del Plan de Forestación, pero el resto no, y lo más normal es que sigan cultivándose, pero en secano. A continuación se explica qué variables se han utilizado y cómo se han relacionado entre sí. Estas variables tienen el fondo de color amarillo claro en la Figura 5.1.

Para calcular la superficie que actualmente está en regadío y que probablemente pasarán a ser de secano, se suma la "Superficie Regable" y la superficie afectada por el "Plan de Forestación". Esa superficie se le resta a la "Superficie regada actualmente", dando como resultado la "Nueva superficie de secano". Se ha asumido que toda esta superficie se cultivará en secano.

Estos nuevos cultivos de secano requerirán empleos ("UTAs de secano"), que se calculan multiplicando la "Nueva superficie de secano" por las "UTAs de una hectárea media de secano". Sumando las "UTAs de secano" y las "UTAs del regadío" se obtiene el número de agricultores final (variable "UTAs"), que es una de las variables objetivo de la red bayesiana. Esta variable permite comparar las consecuencias que las distintas formas de aplicar las medidas de gestión tendrán en el empleo agrario.

Los nuevos cultivos de secano también tendrán una "Producción económica del secano", que se calcula multiplicando la "Nueva superficie de secano" por la productividad de una hectárea media de secano.

Por último, hay que tener en cuenta que los agricultores de la región recibirán ingresos por vender sus derechos y por el programa de forestación. Esto puede suponer una importante suma de dinero, que debe tenerse en cuenta al calcular la producción económica agrícola de la superficie afectada por las medidas de gestión. Por eso se han incluido las variables "Ingresos por la compra de derechos" e "Ingresos por forestación", que una vez sumadas, se han llamado "Otros ingresos".

Finalmente, se suman la "Producción económica del secano", "Otros ingresos" y la "Producción económica bruta del regadío". Esta suma proporciona la "Producción agraria bruta" anual, otra de las variables objetivo de la red bayesiana.

5.1.4 Grupo 4: Variables de tecnología y necesidades de riego

Este grupo reúne las variables que pretenden cuantificar la cantidad de agua necesaria para el riego de cultivos en el acuífero de la Mancha Occidental, y en la figura 5.1 tienen un fondo de color azul oscuro. La "Lluvia caída durante la primavera" y el "Cambio climático" influyen en las "Necesidades de riego teóricas por cultivo". Al multiplicar dicha variable por una hectárea tipo de los escenarios agrarios (variable llamada "Escenarios: % de cada cultivo") se obtienen las "Necesidades de riego para una hectárea tipo de cada escenario agrícola". Esta variable se vuelve a multiplicar por la "Superficie regable" y se obtienen las "Necesidades teóricas de riego regionales", para el conjunto de los regadíos del acuífero.

Esta cantidad son las necesidades teóricas, que no son las mismas que las reales, ya que al regar, siempre se produce una pérdida de agua. Por tanto, hay que añadirle las pérdidas por la eficiencia del riego, para saber las extracciones agrícolas reales. Las pérdidas de agua al regar se han representado en la variable "Modernización de regadíos", en la que se han simulado tres posibles situaciones para evaluar el efecto que tendrían las políticas de mejora de regadíos sobre la eficiencia del riego.

Al multiplicar las "Necesidades teóricas de riego regionales" por un factor de eficiencia incluido en la variable "Modernización de regadíos", por fin se obtienen las "Extracciones agrícolas", es decir, las extracciones de agua para regadíos que serían esperables en la situación modelada.

5.1.5 Grupo 5: Variables necesarias para el balance hidrológico

El último grupo de variables considera la recarga del acuífero y las extracciones no agrícolas, y en la figura 5.1 tienen fondo azul claro.

Actualmente está en construcción un canal para trasvasar agua desde el Tajo hasta el Guadiana, a la altura de las Tablas de Daimiel, que será destinado a cubrir el abastecimiento de la población residente en el acuífero de la Mancha Occidental. El nivel de aplicación de esta medida, representada por la variable "Trasvase Tajo-Guadiana" afectará directamente a otra variable, el "Uso urbano". Cuando el trasvase cumpla su máximo, 30 hm^3, las extracciones para abastecimiento podrían ser prácticamente nulas. También se contemplan otras extracciones artificiales, como las industriales, y otras debidas a nuevas actividades en la zona, como por ejemplo, las plantas de energía solar térmica. Sumando estas tres extracciones ("Abastecimiento", "Uso industrial" y "Nuevos usos de agua") se obtienen las "Extracciones de agua no agrícolas".

La variable "Recursos renovables" representa las entradas que recibe el acuífero cada año (de lluvias, del cauce de los ríos y de otros acuíferos), y las salidas naturales, como la evapotranspiración o el aporte a otros acuíferos. Esta variable está influida por la "Lluvia anual" y por el "Cambio climático". Una nueva variable, "Balance hídrico (0)" representa la resta entre los "Recursos renovables" y las "Extracciones de agua no agrícolas".

Al "Balance Hídrico (0)" se le resta la variable "Extracciones agrícolas", y se obtiene el "Balance hídrico final". A partir de dicho balance se puede saber si el acuífero se recargará o si seguirá vaciándose. Como se sabe aproximadamente el volumen de agua que cabe en 1 metro de profundidad del acuífero, sabiendo el volumen que se recargaría cada año, se puede calcular aproximadamente la "Variación del nivel del acuífero" en el año estudiado. Sabiendo esto, se puede calcular la velocidad a la que sube o baja. Y extrapolando el mismo comportamiento al futuro, se puede calcular los años que tardaría en recuperarse el acuífero en el caso en el que el nivel piezométrico subiera.

5.2 ESTADOS Y PROBABILIDADES DE LAS VARIABLES UTILIZADAS

A continuación se presentan los valores y las probabilidades de las variables de la red bayesiana.

5.2.1 Grupo 1. Variables para obtener la superficie agrícola en regadío

1. Plan de forestación (ha)

Es la superficie de regadío que se piensa retirar con los fondos del "Plan de Forestación" del PEAG. Este plan contempla dos formas de hacerlo:

a) Comprando tierras con derechos de uso de agua.

b) Adquiriendo (comprando) derechos de uso de agua. En algunos de los distintos documentos del PEAG, esta medida se cuantifica como volumen de agua adquirido. Como en la red bayesiana esta medida se cuantifica en unidades de superficie (hectáreas), ha sido necesario transformar las unidades de volumen del PEAG a unidades de superficie. Esto se hace aplicando una dotación de agua media por superficie de regadío, con datos del PEAG, para estimar la superficie equivalente a cada volumen de derechos de riego comprado (Tabla 5.5).

Tabla 5.5. Cálculos para obtener, a partir de los volúmenes de agua contemplados en el PEAG, la superficie afectada por la adquisición de derechos de uso de agua con fondos del Plan de Forestación.
Fuente: CHG, 2008. Y Comunicación por escrito de la Oficina de Planificación de la CHG. 2/05/2008.

	Ahorro de agua (hm^3)	Dotación contemplada (m^3/ha)	Superficie afectada (ha)	Presupuesto gastado (Mill €)	€/ha
Máximo	128	1.600	80.000	1.185	14.813
Alto	107		67.000	1.185	17.687
Medio	96		60.000	1.061	17.687
Bajo	64		40.000	707	17.687
Muy bajo	53		30.000	531	17.687
2005	0		0	0	--

A partir de estas superficies se han definido los estados de esta variable, que se han incluido en la Tabla 5.6. Las probabilidades de la variable "Plan de Forestación" provienen de la opinión de las partes interesadas, y representan la cantidad de superficie que las partes interesadas estiman que se habrá comprado en el año 2015.

Tabla 5.6. Estados y probabilidades de la variable "Plan de Forestación".

Estados de Plan de forestación		Probabilidades
Estado	Superficie afectada (ha)	Año 2015
Máximo	75.000-85.000	1%
Alto	45.000-75.000	20%
Medio	35.000-45.000	30%
Bajo	25.000-35.000	40%
Muy bajo	15.000-25.000	1%
Mínimo	1-15.000	8%
2005	0-1	1%

2. Compra de derechos de agua (ha)

Representa la superficie equivalente al volumen de los derechos de riego comprados con los fondos del PEAG, incluidos en la "Adquisición administrativa de derechos de uso del agua

y terrenos". A partir de los presupuestos del PEAG, y de la dotación media contemplada en el PEAG, se calcula la superficie afectada por la compra de derechos de agua (ha).

Tabla 5.7. Cálculo, a partir de los presupuestos del PEAG, de la superficie que se puede ver afectada por la compra de derechos de uso de agua.
Fuente: CHG, 2008. Y Comunicación por escrito de la Oficina de Planificación de la CHG. 2/05/2008.

	Presupuesto gastado (Mill €)	Dotación contemplada (m^3/ha)	Ahorro de agua (hm^3)	Superficie afectada (ha)	€/ha
Máximo	800	1600	128	80.000	10.000
Alto	800		96	60.000	15.000
Medio	600		85	53.000	10.000
Bajo	600		64	40.000	15.000
Muy bajo	400		43	27.000	10.000
2005	-		0	0	-

No toda la superficie comprada dejará de regarse, ya que en el PEAG se contempla que una parte (como mucho un tercio), se dedique para legalizar regadíos que actualmente no tienen derechos (medida llamada reasignación de derechos). En la tabla 5.8 se calcula la diferencia neta entre la superficie de la que se compran derechos y la parte de esa superficie que se reasigna. La diferencia es la superficie que realmente dejaría de tener derechos para regarse.

Tabla 5.8. Cálculo, a partir de la superficie afectada por la Compra de derechos de agua, de la parte de esa superficie que se legalizaría (reasignación de derechos) y de la superficie que realmente dejaría de tener derechos de uso de agua.

Superficie afectada (ha)	Porcentaje que se legaliza	Superficie que se "legaliza" (ha)	**Superficie que se retira finalmente (ha)**
80.000	33%	26.400	**54.000**
60.000		19.800	**40.000**
53.000		17.490	**35.000**
40.000		13.200	**25.000**
27.000		8.910	**18.000**
0		0	**0**

A partir de los datos de la superficie que realmente se quedaría sin derechos de uso de agua se han definido los estados de esta variable (Tabla 5.9). Sus probabilidades provienen de la opinión de las partes interesadas.

Tabla 5.9. Estados y probabilidades de la variable "Compra de derechos de agua".

Estados de Compra de derechos de agua		Probabilidades
Estado	Superficie afectada (ha)	Año 2015
Máximo	50.000-60.000	0%
Alto	40.000-50.000	0%
Medio	30.000-40.000	10%
Bajo	20.000-30.000	30%
Muy bajo	1-20.000	30%
Actual (2005)	0-1	30%

3. Superficie con derechos comprados (ha)

Es la suma de la superficie que se queda sin derechos de uso de agua como resultado del Plan de Forestación y de la Adquisición administrativa de derechos de uso del agua, realizadas con los fondos del PEAG.

Las probabilidades de esta variable las calcula automáticamente el programa HUGIN 6.9, a partir de las probabilidades de las variables "Plan de Forestación" y "Compra de derechos de agua", ya que es la suma directa de ambas variables.

Tabla 5.10. Estados y probabilidades de la variable "Superficie con derechos comprados".

Estados de Superficie con derechos comprados		Probabilidades
Nº	Estados: Superficie afectada (ha)	Año 2015
1	110.000-145.000	0%
2	90.000-110.000	4%
3	70.000-90.000	13%
4	50.000-70.000	34%
5	40.000-50.000	17%
6	30.000-40.000	18%
7	5-30.000	13%
8	0-5	0%

4. Superficie actual con derechos de riego (ha).

La superficie de cultivos que están en regadío actualmente en el acuífero de la Mancha Occidental presenta diferentes valores según la fuente consultada. No existe un consenso de cuál es la superficie real, lo que crea una gran incertidumbre en cuanto a las actuaciones más apropiadas.

La superficie actual en regadío se ha dividido en dos variables, según tenga o no derechos de uso de agua. La "Superficie actual con derechos de riego" incluye las diferentes superficies que pueden tener derechos de riego según las diferentes fuentes consultadas, y se puede seleccionar una u otra para ver sus consecuencias en las demás variables.

Se ha tenido en cuenta que aproximadamente 5.200 ha de regadío que hay dentro del acuífero de la Mancha Occidental se riegan con aguas superficiales, y se ha descontado de los posibles estados.

A continuación se incluyen tres tablas con los datos y las fuentes que se han utilizado para calcular esta variable.

Tabla 5.11-A. Datos recogidos para estimar la superficie regada en el acuífero de la Mancha Occidental, tanto con derechos de riego (legal) como sin derechos de riego (ilegal).
Se utilizan datos de la Consejería de Agricultura de Castilla la Mancha y de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Estos datos coinciden con los datos proporcionados por la Consejería de Agricultura, que aunque no es el organismo encargado de conocer la superficie con derechos de riego, si tiene datos muy fiables en cuanto a la superficie regada. Por tanto, a esta superficie se le ha dado una probabilidad alta (30%) en la tabla 5.12.

Datos del PEAG + Consejería de Agricultura			
	Regadío legal (ha)	**Regadío sin derechos de riego (ha)**	**Regadío total (ha)**
Cereales grano	68.850 (1)	7.461 (4)	**76.311**
Hortícolas	22.590 (1)	2.700 (4)	**25.290**
Viñedo	61.200 (1)	27.204 (4)	**88.404**
Barbecho	38.000 (2)	0	**38.000**
Otros (Cultivos industriales, leguminosas-grano, olivar, etc.	18.000 (*)	15.204 (*)	**33.204**
TOTAL	**208.640** (3)	**52.569** (3)	**261.209**

Fuente de los datos:
(1) Presentación de Suárez Peces en Tomelloso el 26 de Octubre 2007. Director General de Modernización y Desarrollo Agrario. Consejería de Agricultura Junta de Comunidades de Castilla la Mancha.
(2) CHG, 2008. PEAG. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 9.2. Programa de modernización y desarrollo agrario. Pág. 11 y 12. Consultado 12/1/2008.
(3) CHG, 2008. PEAG. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 8.2. Informe de aprovechamientos sin aval en el acuífero nº 23. Pág. 7. Consultado 12/1/2008
(4) CHG, 2008. PEAG. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 8.2. Informe de aprovechamientos sin aval en el acuífero nº 23. Pág.21 Consultado 12/1/2008
(*) Deducido del resto de los datos.

Tabla 5.11-B. Datos del estudio realizado en 2005 mediante teledetección para estimar la superficie total regada realmente en el acuífero de la Mancha Occidental (tanto con derechos de riego (legal) como sin derechos de riego (ilegal)).
Estos datos se basan en los datos obtenidos por satélite, que en principio son los datos más parecidos a la superficie realmente regada actualmente (en 2005). Hay que tener en cuenta que mediante este estudio no se pudo estimar la superficie de viñedo en regadío, por lo que la CHG obtuvo dichos valores por otros métodos. También hay que tener en cuenta que, dependiendo de las lluvias anuales y primaverales, la superficie de cereales que se riega puede variar mucho (en años lluviosos se riega menos, y en años secos más). Es una fuente de datos fiable, objetiva, y que se ha utilizado en multitud de documentos oficiales, por lo que a estos datos se le ha asignado una probabilidad alta (30%) en la tabla 5.12.
Fuente de los datos:
CHG, 2008. PEAG. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 0. Documento de síntesis. Pág. 14. Fuente: Teledetección (2005).
(2) CHG, 2008. PEAG. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 9.2. Programa de modernización y desarrollo agrario. Pág. 11 y 12. Consultado 12/1/2008.

Datos de teledetección		
	Regadío total (ha)	**Regadío total + barbecho (ha)**
Cereales grano	28.841	28.841
Hortícolas	16.422	16.422
Viñedo	83.640	83.640
Barbecho	0	38.000(2)
Otros (Cultivos industriales, leguminosas-grano, olivar, etc.)	2.850	2.850
TOTAL	**131.754**	**169.754**

Tabla 5.11-C. Datos sobre la superficie actual con derechos de uso de agua y sobre la superficie sin derechos de uso de agua que se estima que se ha regado alguna vez (porque ha solicitado su legalización o porque ha sido denunciada por regar sin derechos).
Han sido proporcionados en una comunicación oral por la Confederación Hidrográfica del Guadiana, con datos más elaborados que los incluidos en el PEAG. Según la CHG estos datos son los más fiables, por eso se les ha asignado la probabilidad más alta (40%) en la tabla 5.12.
Fuente: Comunicación por escrito de la Oficina de Planificación de la CHG. 2/05/2008, interpretación de los datos contenidos en PEAG. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 8.2. Informe de aprovechamientos sin aval en el acuífero nº 23. Pág. 7. Consultado 12/1/2008. (CHG, 2008).

Datos de "Comunicación CHG" (ha)					
				Legales	Ilegales
Reconocidos o en trámite	189.000	Reconocidas		151.000	
		En trámite	Se estima que si se reconocerán	18.000	
			Se estima que no se reconocerán		20.000
Denegados	32.000	Sentencia firme: hay que reconocerlos		6.000	
		Todavía en trámites, se estima que no se llegarán a reconocer			26.000
Ilegales	40.000				40.000
TOTAL	261.000			175.000	86.000

Durante el proceso de construcción de la red bayesiana, las partes interesadas han indicado qué superficie piensan que está en regadío actualmente con derechos de riego, lo que se ha traducido en las probabilidades de cada valor (Tabla 5.12).

Tabla 5.12. Estados y probabilidades de la variable "Superficie actual con derechos de riego".

Nº	Estados de Superficie actual con derecho de riego	ha	Probabilidades
1	Datos del PEAG + Consejería de Agricultura	200.000-215.000	30%
2	Intermedio bajo	180.000-200.000	0%
3	Datos actuales de la CHG	170.000-180.000	40%
4	Intermedio alto	110.000-170.000	0%
5	Datos de teledetección	90.000-110.000	30%

5. Superficie final con derechos (ha).

Esta variable representa la superficie que tendría derechos de riego una vez completada la compra de derechos de riego. Según el PEAG esto ocurriría en 2015. Se obtiene al restar a la "Superficie actual con derechos de riego", la variable "Superficie con derechos comprados" (variable nº 4 – variable nº 3).

Las probabilidades de esta variable las calcula el programa HUGIN 6.9, a partir de las tablas de probabilidad condicional (para más información sobre cómo lo calcula el programa, ver capítulo "Metodología").

Tabla 5.13. Estados de la variable "Superficie final con derechos".

Nº	Estados de Superficie final con derechos (ha)
1	180.000-215.000
2	160.000-180.000
3	140.000-160.000
4	120.000-140.000
5	100.000-120.000
6	75.000-100.000
7	50.000-75.000
8	25.000-50.000
9	1-25.000
10	0-1

6. Capacidad de aplicar el RAE (ha)

Esta variable representa el nivel de cumplimiento que los agricultores hacen del Régimen Anual de Extracciones (RAE). Según las partes interesadas, esto dependerá en gran parte de la capacidad de las administraciones para que hacer cumplir el RAE a los agricultores.

El Régimen Anual de Extracciones existe desde que se declaró el acuífero de la Mancha Occidental como sobreexplotado. Fija unas dotaciones de riego que los agricultores deben cumplir al regar, para evitar la sobreexplotación del acuífero. Dichas dotaciones son menores que las necesidades de riego teóricas de los cultivos. En parte por eso, hasta muy recientemente, muchas explotaciones no lo cumplían, por lo que uno de los objetivos del PEAG es conseguir que todos lo agricultores cumplan el RAE.

Las medidas concretas del PEAG relativas tanto a esta variable como a la variable nº 12 ("Capacidad para cerrar pozos ilegales"), están contenidas en el Programa Hidrológico, Anexo 2 del PEAG, a las que se ha destinado un presupuesto total de 240 M€ (CHG, 2008). Las principales medias de este Programa Hidrológico son: Desarrollo de inventarios de aprovechamientos existentes, Instalación y control de caudalímetros, Estimación de consumos de teledetección y discriminación espectral de cultivos.

Para calcular los datos de esta variable se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los agricultores o explotaciones, cuando cumplen el RAE, en general, mantienen la superficie de riego de hortícolas, viñas y otros cultivos, y reducen la superficie de cereales regada. De esta forma, siguen produciendo los cultivos que les proporcionan más ingresos, y sacrifican la producción de cereal en regadío (Fuente: comunicación oral con agricultores y expertos participantes en la construcción de la red bayesiana).

- En un escenario de mayor cumplimiento del RAE, por tanto, la superficie de cereal en regadío descendería y pasaría a cereal en secano. Se ha considerado que el aumento de los precios de los cereales no alteraría este comportamiento.

- Actualmente el cumplimiento del RAE en las explotaciones que sólo tienen viñedo, y por tanto, no pueden dejar de regar cereal, se intenta hacer rebajando el consumo de agua, pero no son controladas en la práctica. Si este control aumenta, se pueden producir dos situaciones:

a) que la Confederación permita seguir regando la misma superficie, aunque con un riego menor que el actual, pero mayor que la dotación contemplada en el RAE, ya que no permite mantener una explotación en regadío viable;

b) que la Confederación obligue a reducir la superficie de viñedo regada para que así, la superficie que se mantenga regada, se pueda regar con más agua que la prevista en la dotación del RAE.

Por tanto, finalmente se ha considerado que cuando un agricultor aplica el RAE, va a regar la superficie que mantiene regada con las dotaciones que se necesitan para mantener la explotación, y que el resto de la superficie la va a dejar sin regar. De esta forma, se ha considerado que para que se aplique el RAE, que en 2007 y 2008 fijó unas extracciones totales para el regadío en 200 hm^3, la superficie que se riegue debe ser aquella que regada con las dotaciones habituales, no supere dicho volumen.

Para el caso en el que el 90% de los agricultores aplicaran el RAE, la superficie máxima que se podría regar sería entre 71.000 ha y 56.000 ha, tal y como se muestra en la Tabla 5.14:

Tabla 5.14. Cálculos para saber cuál es la superficie máxima que se podría regar superando sólo un 10% los 200 hm^3, si los agricultores utilizaran unas dotaciones equivalentes a las necesidades de riego teóricas de los cultivos.
Se considera que el 90% de los agricultores cumplen el RAE, y que los que no lo cumplen, riegan el doble que los que si lo cumplen.

	Dotación media (m^3/ha)		
	Dotaciones bajas	Dotaciones medias	Dotaciones altas
	3.095	3.334	3.946
Superficie total (ha)	71.088	65.983	55.748
Gasto real de agua	220 hm^3	220 hm^3	220 hm^3

Para obtener la dotación real que necesitan los cultivos se han utilizado las dotaciones por hectárea suministradas por el SIAR[5] (2008). Se ha obtenido para años secos, húmedos y medios (para más información ver la explicación de la variable "Necesidades de riego por cultivo"). La CHG estima que en 2005 las extracciones fueron de 387,11 hm^3, es decir, prácticamente el doble que el límite del RAE. Por tanto, los que no respetan el RAE deben extraer, por lo menos, el doble de lo que extraen los que si lo cumplen. Suponiendo que la mitad de los agricultores cumple el RAE, la superficie que se podría regar está entre 96.000 ha y 76.000 ha (Tabla 5.15).

Tabla 5.15. Cálculos para saber cuánta superficie que se regaría si el 50% de los agricultores no cumplen el RAE, considerando que riegan el doble que los que si lo cumplen.

	Dotación media (m^3/ha)		
	Dotaciones bajas	Dotaciones medias	Dotaciones altas
	3.095	3.334	3.946
Superficie total (ha)	96.938	89.977	76.019
Gasto real de agua	300 hm^3	300 hm^3	300 hm^3

[5] Página web: http://crea.uclm.es/siar/, media de las dotaciones para la Zona Regable de Tomelloso, Alcazar de San Juan y Argamasilla De Alba, para la Zona Regable de Manzanares y para la Zona Regable de Daimiel.

Según las partes interesadas, el control y aplicación del RAE es cada vez mayor, y todos coinciden en creer que seguirá aumentando en el futuro. Por eso, la probabilidad de que haya una mayor capacidad es muy alta (49%, en la Tabla 5.16). Sin embargo, la superficie que resultaría de su aplicación al 50%, sería bastante menor a la superficie en regadío con derechos actualmente contemplada (entre 208.000 ha y 100.000 ha), por lo que se ha considerado muy difícil que la capacidad sea mucho mayor (Tabla 5.16).

Tabla 5.16. La variable "Capacidad de aplicar el RAE" tiene tres estados.

Estados de Capacidad de aplicar el RAE (ha)				Probabilidades
	Nombre	Descripción	Significa	Año 2015
1	Capacidad Actual	Superficie con derechos de riego resultado de la compra de derechos	No limita la superficie con derechos de riego	50%
2	Mayor capacidad	Lo aplican la mitad de las explotaciones (50%)	Un máximo de 90.000 ha con derechos de riego (70.000-110.000 ha)	49%
3	Capacidad Mucho mayor	Casi todas lo aplican (90%): Superficie con derechos de riego que podría regarse con las dotaciones medias	Un máximo de 66.000 ha con derechos de riego (60.000-70.000 ha)	1%

7. Superficie con derechos regable tras aplicar el RAE (ha).

En el caso en que no se aplique el RAE, esta variable toma el mismo valor que la "Superficie final con derechos". En los casos en los que si se aplique el RAE, esta variable toma los valores "60.000-70.000 ha" o"70.000-110.000 ha", dependiendo del nivel de cumplimiento del RAE: 50% o 90%, respectivamente. Cuando ocurra una combinación de los estados de la variable 6 (Capacidad de aplicar el RAE), los valores serán intermedios.

8. Plan de reconversión del viñedo (ha)

Esta variable representa los posibles nuevos regadíos ilegales que puedan surgir durante el periodo considerado, es decir, representa a las hectáreas que actualmente son de secano, y que se transformarán a regadío, sin permisos de uso de agua. Hay que tener en cuenta que en otras variables se tiene en cuenta la capacidad que la Confederación Hidrográfica del Guadiana tiene para controlar los regadíos ilegales. Si la capacidad de control de la CHG es muy alta, por tanto, lograría cerrar estos nuevos regadíos.

La Consejería de Agricultura de la JCCM está ejecutando un Plan de Reconversión del Viñedo, que consiste en ayudar a los agricultores a, entre otras cosas, instalar espalderas y riego por goteo en las explotaciones de viñedo. Aunque no está destinado para ello, en la reunión con las partes interesadas nos confirmaron que esta subvención es aprovechada por algunos agricultores para poner en regadío viñedos que antes eran de secano. Por tanto, este Plan puede ser una de los orígenes de los nuevos regadíos ilegales, aunque también aparecerían por otras razones, obviamente. Los estados de la variable "Plan de reconversión del viñedo" se incluyen en la Tabla 5.17. Sus probabilidades provienen de la opinión de las partes interesadas.

Tabla 5.17. Estados y probabilidades de "Plan de reconversión del viñedo". Esto supone, por ejemplo, que se atribuye una probabilidad del 20% a que surjan entre 15.000 ha y 25.000 ha de nuevos regadíos sin derechos, hasta el año 2015.
La fuente de esta tabla son los nuevos 61 hm^3 que el PEAG considera que podrían necesitar los nuevos regadíos resultado de aplicación de este programa. A partir del volumen, se ha deducido la superficie de nuevos regadíos (se ha deducido aplicando una dotación de 1.500 m^3/ha). Fuente: PEAG. B. Memoria Técnica (Anexo 7). 10. Evaluación Ambiental Estratégica. 10. 1. Memoria ambiental. Página: 14.

Estados de Plan de reconversión del viñedo (ha)				Probabilidades
Nº	Nombre	hm^3	Ha correspondientes (dotación de 1.500 m^3/ha)	Año 2015
1	Máximo	61	25.000-40.000	5%
2	Medio	30	15.000-25.000	20%
3	Mínimo	15	5.000-15.000	50%
4	Nada	0	50-5.000	25%

9. Cambio de la superficie sin derechos (ha)

Esta variable representa los cambios que se pueden producir en la superficie que hay de regadíos sin derechos de uso de agua. Se ha considerado que esta superficie puede variar en función del "Plan de reconversión del viñedo" (variable nº 8, explicada anteriormente), de la "Capacidad para cerrar pozos ilegales" (variable nº 12, que se explica posteriormente) y por la regularización de derechos de riego a agricultores que actualmente no los tienen. Ésta última se explica a continuación:

- Regularización de derechos de uso de agua:

En el PEAG se contempla que un tercio del volumen de los derechos de agua comprados, se destinará a legalizar las explotaciones de determinados usuarios de agua que actualmente no tienen derechos de riego. Se ha trasladado dicho volumen a superficie, y se ha ligado a la variable "Compra de derechos de agua" (ver variable nº 2 y la tabla explicativa nº 5.8), ya que la cesión de derechos es un porcentaje de la superficie afectada por la compra (un 33% de la superficie afectada por la compra, y por tanto, el 50% de la superficie que se retira de regadío).

Durante las reuniones con las partes interesadas se habló de que probablemente la cesión de derechos fuese mayor a la considerada en el PEAG. La superficie final que se ceda va a ser decidida finalmente por el Consorcio. Por falta de un referente numérico y ante la incertidumbre de las decisiones del consorcio, se decidió mantener esta variable con los datos aportados por el PEAG (Tabla 5.18).

Tabla 5.18. Cálculo, a partir de la superficie afectada por la Compra de derechos de agua, de la parte de esa superficie que se legalizaría (reasignación de derechos).

Compra de derechos	Superficie afectada (ha)	Porcentaje que se legaliza	Superficie que se "legaliza" (ha)	**Superficie que se retira finalmente (ha)**
Máximo	80.000	33%	**26.400**	54.000
Alto	60.000		**19.800**	40.000
Medio	53.000		**17.490**	35.000
Bajo	40.000		**13.200**	25.000
Muy bajo	27.000		**8.910**	18.000
Actual (2005)	0		**0**	0

Debido a la naturaleza de las redes bayesianas, no ha sido necesario incluir una variable denominada cesión de derechos. Lo que se ha hecho es unir con una flecha (relación) la variable nº 2 (Compra de derechos de agua) con la presente variable nº 9 ("Cambio de la superficie sin derechos"). De esta forma, a los posibles nuevos regadíos sin derechos, incluidos en la variable "Plan de reconversión del viñedo" (variable nº 8) se le resta el 50% de la superficie de la variable nº 2 ("Compra de derechos de agua"). De esta forma se han fijado unos intervalos que cubren las posibles variaciones en la superficie sin derechos (Tabla 5.19). Sus probabilidades se transmiten desde sus variables padres (nº 2 y nº8) a través de las Tablas de probabilidad condicional.

Tabla 5.19. Estados de la variable "Cambio de la superficie sin derechos".

Estados de Cambio de la superficie sin derechos (ha)	
1	25.000-40.000
2	15.000-25.000
3	1.000-15.000
4	0-1.000
5	-1.000-0
6	-10.000- -1.000
7	-30.000- -10.000

10. Superficie actual sin derechos de riego (ha)

Representa la superficie de regadío que no tiene derechos de uso de agua reconocidos actualmente. Debido a las distintas superficies encontradas en las fuentes consultadas, se ha introducido una variable que considere dichas diferencias. Esta variable se ha designado "Superficie actual sin derechos de riego", e incluye las diferentes superficies; permite seleccionar una u otra superficie para ver sus consecuencias en las demás variables. Las probabilidades para definirla se han tomado del proceso de participación, y también se ha tenido en cuenta los criterios considerados en la variable "Superficie actual con derechos de riego" (nº4). Sus estados y probabilidades se incluyen en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20. Estados y probabilidades de la variable "Superficie actual sin derechos de riego".
Fuente de los datos:
CHG, 2008. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 8.2. Informe de aprovechamientos sin aval en el acuífero nº 23. Pág.7. Consultado 21.9.2007;
Comunicación por escrito de la Oficina de Planificación de la CHG. 2/05/2008.
Interpretación de los datos contenidos en PEAG. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 8.2. Informe de aprovechamientos sin aval en el acuífero nº 23. Pág. 7. Consultado 12/1/2008.

Estados de Superficie actual sin derechos de riego (ha)			Probabilidades
Nº	Nombre	Explicación	Año 2005
1	80.000-90.000 ha	Coincide con los datos actuales de la CHG (33% de la superficie total en regadío).	40%
2	60.000-80.000 ha	-	0%
3	45.000-60.000 ha	Datos contemplados en el PEAG (supone el 20% de la superficie total regable).	30%
4	35.000-45.000 ha	Equivalente al 26,5% de la superficie de regadío obtenida mediante teledetección (2005).	30%

11. 2ª Superficie sin derechos (ha).

Es la superficie que resulta de sumar o restar el "Cambio superficie sin derechos" (variable nº 9) a la "Superficie actual sin derechos" (nº 10). Es decir, la superficie de regadío sin derechos de riego que habría, suponiendo una superficie determinada actualmente, y suponiendo que aumenta o disminuye dependiendo de sus variables "padre".

Las probabilidades de esta variable resultan de la combinación de las probabilidades de sus "variables padre" (Tabla 5.21).

Tabla 5.21. Estados y probabilidades de la variable "2ª Superficie sin derechos".

Estados de 2ª Superficie sin derechos (ha)		Probabilidades en 2015
1	110.000-140.000	1%
2	90.000-110.000	17%
3	80.000-90.000	14%
4	60.000-80.000	21%
5	45.000-60.000	26%
6	20.000-45.000	20%
7	5.000-20.000	1%

12. Capacidad para cerrar pozos ilegales (ha)

Representa la eficacia de las administraciones para cerrar pozos que no tengan derechos de uso de agua. Se traduce en un porcentaje de disminución o aumento de las tierras sin derechos de riego, que se aplica sobre la variable "2ª Superficie sin derechos" (variable nº 11). Si el control es mayor, ésta última variable sería multiplicada por un factor menor de 1, y por tanto se reduciría la superficie sin derechos.

Las medidas concretas del PEAG relativas tanto a esta variable como a la variable nº 6 (Capacidad de aplicar el RAE"), están contenidas en el Programa Hidrológico, Anexo 2 del PEAG, con un presupuesto de total de 240 M€ y son: Desarrollo de inventarios de aprovechamientos existentes, Instalación y control de caudalímetros, Estimación de consumos de teledetección y discriminación espectral de cultivos.

Todas las partes interesadas han coincido en que hay una mayor probabilidad de que el control sea mayor en el futuro (Tabla 5. 22).

Tabla 5.22. Estados y probabilidades de la variable "Capacidad para cerrar pozos ilegales".
Fuente: elaboración propia, a partir de las reuniones y entrevistas con las partes interesadas.

Estados de Capacidad para cerrar pozos ilegales (ha)			Probabilidades
Nº	Nombre	Valor	Año 2015
1	Actual	x 1-0,9	0%
2	Mayor	x 0,9-0,625	30%
3	Bastante Mayor	x 0,325-0,625	40%
4	Mucho Mayor	x 0,12-0,325	30%
5	Total	x 0.10-0,12	0%

13. Superficie sin derechos final (ha)

Es la superficie que no tiene derechos de uso de agua que habría en 2015. Resulta de multiplicar la variable "2ª Superficie sin derechos" por la "Capacidad para cerrar pozos ilegales" (Variables nº 11 y 12, respectivamente). Las probabilidades de esta variable resultan de la combinación de las probabilidades de sus "variables padre" (Tabla 5.23).

Tabla 5.23. Estados y probabilidades de la variable "Superficie sin derechos final".

Estados de Superficie final sin derechos (ha)		Probabilidades en 2015
1	110.000-140.000	0%
2	95.000-110.000	0%
3	75.000-95.000	4%
4	55.000-75.000	10%
5	35.000-55.000	23%
6	25.000-35.000	18%
7	10.000-25.000	34%
8	500-10.000	11%

14. Superficie regable (ha)

Sería la superficie total regable en el acuífero de la Mancha Occidental en el año 2015. Es la suma de las tierras con y sin derechos de riego, es decir, la suma de las variables "Superficie con derechos regable tras aplicar RAE" y "Superficie sin derechos final" (variables nº 7 y 13, respectivamente). Las probabilidades de esta variable resultan de la combinación dichas variables (Tabla 5.24).

Tabla 5.24. Estados y probabilidades de la "Superficie regable".

Estados de Superficie regable (ha)		Probabilidades en 2015
1	>270.000	0%
2	240.000-270.000	1%
3	205.000-240.000	5%
4	175.000-205.000	10%
5	150.000-175.000	11%
6	110.000-150.000	26%
7	75.000-110.000	37%
8	<75.000	10%

5.2.2 Grupo 2. Variables socioeconómicas de cultivos de regadío

A continuación se describen los estados y las probabilidades de las variables socioeconómicas de los cultivos de regadío, necesarias para saber el número de empleos agrarios y la producción económica generados por los cultivos de regadío del acuífero de la Mancha Occidental. Estas variables tienen un fondo verde en la Figura 5.1.

15. Escenarios de mercado y políticas agrarias

Esta variable representa diferentes escenarios relativos a los posibles cambios que pueden producirse en el sector agrícola en los próximos años y que influirían en el aumento o descenso de la superficie dedicada a cada tipo de cultivo en la zona.

Los estados de esta variable son los nombres de los escenarios, pero cada escenario corresponde a una distribución de cultivos concreta. Dicha distribución se ha hecho indicando el porcentaje que ocupa cada tipo de cultivo (en el total de superficie en regadío).

Tal y como se ha diseñado la red, las políticas hídricas tendrán un efecto directo sobre la superficie de cultivos en regadío y sobre el agua de riego que se aplica a cada cultivo. Dichas políticas también pretenden influir en los tipos de cultivo, por ejemplo, comprando a precios más caros la superficie de herbáceos que la de leñosos, o cediendo derechos de riego primando a los agricultores con cultivos hortícolas o viñedo. Sin embargo, las políticas y el mercado agrario serán los que tengan una importancia primordial en la distribución futura de los cultivos en la región.

El futuro de la agricultura estará condicionado por los cambios en la política europea, en los mercados internacionales y en la planificación sectorial a nivel nacional y regional (MIMAM, 2007). Por eso se han analizado dichos sectores y a continuación se exponen en orden de menor a mayor escala.

A. ESCALA MUNDIAL Y EUROPEA

Los factores que se tienen en cuenta a nivel europeo y mundial son (Comisión Europea, 2008):

- Acuerdos del sector agrícola de la Ronda Uruguay en el marco de la Organización Mundial del Comercio
- Las reformas de la Política Agraria Comunitaria (PAC)
- Aumento de la demanda de productos agrícolas a nivel mundial
- Los nuevos mercados de biocombustibles
- La integración de Bulgaria, Hungría, Eslovaquia y Rumanía al Mercado Común Europeo
- Incertidumbres debidas al clima
- Pequeños aumentos de productividad por las mejoras tecnológicas
- Aumento del producto interior bruto
- Organización Común del Comercio del vino y de los hortofrutícolas

A nivel mundial el organismo que tiene mayor influencia sobre el sector agrícola es la Organización Mundial del Comercio. Debido al lento avance de los acuerdos de Doha, se espera que los acuerdos alcanzados en la Ronda Uruguay se mantengan sin cambios durante el periodo 2007-2014, y que sean respetados por los respectivos países (Comisión Europea, 2008).

A escala europea, lo primero que hay que tener en cuenta es que el momento de realizarse el presente trabajo, es un periodo de grandes cambios y máxima incertidumbre: además de las reformas de la Política Agraria Comunitaria (PAC), está prevista la revisión de los presupuestos europeos, a lo que hay que sumar el sorprendente aumento de los precios de los cereales.

La PAC fija las grandes directrices de acción de las administraciones públicas agrarias, y tiene un efecto directo en la agricultura de toda Europa, y por tanto, también en el Alto Guadiana. Actualmente nos encontramos bajo la influencia de su última reforma, que se aprobó en el año 2003, entró en vigor en el año 2007, y tiene vigencia hasta 2013. Sin embargo, en el año 2008 la Comisión ha empezado un chequeo (revisión o evaluación, que se llama "Chequeo médico") para hacer una pequeña adaptación de las medidas aprobadas en el año 2003, que se aprobará en 2009, y cuyos cambios empecerán a aplicarse en el año 2010. En el año 2013 volverá a reformarse y empezará un nuevo periodo de la PAC (2013-2020), que estará determinado por los presupuestos europeos que entren en vigor en el año 2013. Actualmente también se está discutiendo cómo se repartirán dichos presupuestos.

La última reforma de la Política Agraria Comunitaria (PAC), la que entró en vigor en el año 2007, ha incluido ayudas directas a los agricultores desacopladas de su producción, aunque en algunos países como en España se ha permitido que se mantengan parcialmente acopladas. Desde 2006 se introdujo la necesidad de poner en barbecho el 10% de la superficie de cultivos herbáceos para poder recibir dicha ayuda. Ambas medidas pretendían reducir los excedentes agrícolas que se estaban produciendo los últimos años en los cultivos que recibían las ayudas COP (Cereales, Oleaginosas y Proteaginosas).

A partir del año 2007, sin embargo, se ha producido un gran aumento de los precios de los cereales en todo el mundo. Este aumento se ha debido tanto a factores estructurales, como a otros más circunstanciales. El principal factor estructural es el aumento de la demanda de estos productos, debido a cuatro razones principales:

1) el crecimiento económico mundial,

2) los cambios en el comportamiento de la población, como el paso de población rural a urbana y los cambios en la dieta (por ejemplo, hacia más consumo de carne) en muchas partes del mundo (especialmente en India, China y América Latina),

3) la especulación que se hace con los precios de los cereales, que se ha revelado como uno de los factores más importantes ya que durante el año 2008 los precios han vuelto a bajar, y

4) al aumento de la demanda por los nuevos mercados de biocombustibles. El horizonte que se ha marcado la UE para que el 10% de los combustibles sean biodiesel es poco concreto, y en estos momentos se está evaluando de nuevo, ante los desequilibrios que podría crear en el mercado de los alimentos; pero a nivel mundial parece que si va a seguir teniendo importancia, por lo menos hasta el año 2015.

Estos cambios han coincidido durante el año 2007 con un factor no estructural como son las condiciones climáticas adversas, que se han producido en muchas de las mayores regiones productoras y exportadoras de estos cultivos.

Respondiendo a la nueva situación del mercado de los cereales, en el "Chequeo Médico" se plantea la posibilidad de reducir las ayudas a los cereales forrajeros y mantenerlas sólo para el trigo blando, como forma de mantener una seguridad en el sector de los cereales (Comisión Europea, 2007). En esta revisión también se plantea la subida de los fondos del segundo pilar de la PAC, el dedicado al desarrollo rural. Estos fondos podrían beneficiar a parte de las medidas contempladas en el PEAG.

La Comisión Europea espera que el aumento estructural de la demanda de cereales del año 2007, sea compensado por el ingreso de Bulgaria, Hungría, Eslovaquia y Rumanía en el Mercado Común europeo, y por las predicciones de aumento de la producción. Ambos factores harán que haya un balance en los mercados europeos de cereales, por lo menos hasta el año 2014.

Por tanto parece razonable esperar que, en el medio plazo, los precios mundiales y europeos de los cereales se mantendrán a niveles más altos que los de la última década, aunque no tanto como en el año 2007, y que a partir de ahora los precios de los cereales sufrirán mayores fluctuaciones que en el pasado (de hecho, en 2008 han sufrido un descenso muy acusado). Según los datos de European Commission (2007), los precios mundiales del trigo se mantendrán entre un 30% y un 40% más altos que en la última década, por lo menos hasta los años 2016/2017. Para el mismo periodo, la misma fuente estima que los precios mundiales del maíz y de la cebada se mantendrán entre un 40% y un 50% más altos, aunque hay que tener en cuenta que los mercados (y por tanto, los precios) de estos productos son mucho más regionales que los del trigo.

Por otra parte, conviene apuntar también como dato de interés, que la Comisión Europea también espera que sigan creciendo los precios de las frutas y hortalizas.

B. ESCALA NACIONAL Y REGIONAL

A escala nacional, los factores más importantes que influyen en la ocupación de la superficie agrícola por cultivos de regadío son:

- Los apoyos institucionales, a través de los programas de expansión y modernización de regadíos, que tienen, entre otros objetivos, el desarrollo rural.

- El desarrollo a una agricultura más comercial, que tiene importantes consecuencias, tales como la sustitución de mano de obra familiar por mano de obra asalariada o como el aumento del tamaño medio de las explotaciones.

- Los precios del agua a escala nacional no se consideran determinantes, pues en las zonas de riego con aguas superficiales, los costes son fijos y subvencionados por la administración; y en las zonas de riego con aguas subterráneas, los costes energéticos de bombeo no impiden hasta ahora, en la mayoría de los casos, su explotación.

- Las incertidumbres asociadas al mercado agrario mundial y la Política Agraria Comunitaria. Tanto el mercado como las políticas institucionales relacionadas con la agricultura europea, como se ha explicado anteriormente, están actualmente en un momento de grandes cambios e incertidumbres, entre los cuales uno de los más importantes para la zona de estudio afecta a los cultivos anteriormente más protegidos (los cultivos COP), que van a perder parte de la protección que tenían, para ir acercándose a la situación del mercado mundial. En esta nueva situación se espera un aumento en las superficies de hortalizas, cultivos industriales y frutales (Ministerio de Medio Ambiente, 2007).

- Las tendencias pasadas, que no constituyen un factor especialmente importante porque las nuevas circunstancias mundiales explicadas anteriormente cambiarán con seguridad la situación anterior.

A continuación se exponen las previsiones del Ministerio de Medio Ambiente (2007) para el cambio en los regadíos de la cuenca del Guadiana, entre los años 2001 y 2015, y las previsiones hechas por la CHG (2006b), para la Comarca Agraria de la Mancha, en Ciudad Real, que se puede tomar como representativa de la situación del acuífero de la Mancha Occidental (Tabla 5.25).

Tabla 5.25. Previsiones de aumento o descenso en la superficie de cada tipo de cultivo de regadío entre los años 2001 y 2015.

	% de incremento o descenso de la superficie ocupada por cada cultivo	
Cultivos	**Cuenca Hidrográfica del Guadiana (MIMAM, 2007)**	**Comarca agraria Mancha (Ciudad Real) (CHG, 2006b)**
Cereales Grano	-8	-7
Hortalizas	21	-5
Cultivos industriales	-	-29
Barbecho	9	-
Otros Cultivos Herbáceos (forrajeros y leguminosas)	39	126
Olivar	15	-18
Viñedo	-13	-16

Estas variaciones previstas harían que, en el caso de la Cuenca del Guadiana y de la Comarca Agrícola Mancha de Ciudad Real, el porcentaje sobre el total de superficie en regadío de los cereales grano descienda entre un 2% y un 3% , la de viñedo entre un 4%-7% y la de otros cultivos herbáceos (cultivos forrajeros y leguminosas principalmente) aumentara entre un 5% y un 10% (Tabla 5. 26).

Tabla 5.26. Porcentaje de cada tipo de cultivo sobre el total de la superficie en regadío.

Porcentaje ocupado por cada cultivo en los años 2001 y 2015 y diferencias entre dichos años						
	CH Guadiana			Comarca Agraria Mancha (Ciudad Real)		
	(%)		Cambio 2001/2015	%		Cambio 2001/2015
Cultivos en regadío	2001	2015		2001	2015	
Cereales Grano	40	37	-3%	33	31	-2%
Hortalizas*	7	8	+1%	4	4	-
Cultivos industriales	1	1	-	3	2	-1%
Otros Cultivos Herbáceos (forrajeros y leguminosas)	11	16	+5%	7	17	+10%
Olivar	10	11	+1%	3	2	-1%
Viñedo	31	27	-4%	51	44	-7%

Como puede observarse hay grandes diferencias entre las previsiones para la Cuenca del Guadiana y para la comarca de la Mancha de Ciudad Real, aunque pueden observarse también varias coincidencias. Las dos coincidencias principales son, por un lado, el aumento de la superficie de los cultivos forrajeros y de las leguminosas, y por otro, el descenso en la superficie de cereales y viñedos. De todas formas hay que tener en cuenta que estas previsiones se hicieron antes de los importantes cambios del sector de los cereales ocurrido durante 2007 (el último de los estudios se publicó en enero de 2007).

C. ESCALA LOCAL

Como se ha explicado anteriormente, en el acuífero de la Mancha Occidental la superficie ocupada por cada cultivo en regadío en el futuro, estará determinada por la venta de derechos de riego. La Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG) ha planeado la compra de una gran extensión de tierras (podrían llegar a comprar más de 110.000 ha, variable nº 3), por lo que previsiblemente va a descender la superficie total de regadío en la zona. Este hecho se ha introducido en la red bayesiana a través de las variables "Plan de forestación" y "Compra de derechos". Además, todos los agentes consultados han coincido en que la capacidad de la CHG para controlar la superficie de regadío que no tiene derechos de riego, va a aumentar. Si esto finalmente ocurre, también supondrá que una parte de la superficie que actualmente se cultiva en regadío en el acuífero de la Mancha Occidental, deje de estarlo.

Como consecuencia, lo esperable es que las variaciones de superficie sean, en su gran mayoría, descensos de la superficie ocupada por cada cultivo. Cabe esperar, por tanto, que las políticas y la situación de los mercados de los productos agrarios que se acaba de analizar, influirán de una forma importante en el tipo de cultivo que se deja de cultivar en regadío.

Una vez expuesta la situación del mercado y de las políticas agrarias a escala internacional y nacional, a continuación se explica en qué actuaciones y situaciones concretas se traducen dichas circunstancias en el Alto Guadiana. A partir de este análisis se construirán escenarios que respondan a dichas políticas y a dichas situaciones. Estos escenarios se traducirán en los posibles diferentes caminos que puedan tomar los cambios en la superficie de cultivos de regadío en el acuífero de la Mancha Occidental.

Cereales

En el año 2007 subieron de 20 pts/kg a 35 pts/kg de media (de 0,12 €/kg a 0,21 €/kg; lo que supone un 75%). Según los organismos internacionales, es probable que se mantengan altos hasta el año 2015, aunque se espera bajen y no sean tal altos como en 2007. A partir de ese año, la incertidumbre es mucho mayor, porque puede volver a cambiar mucho. El pago único desacoplado casi totalmente desde el año 2007, hará que la influencia de la PAC sea menor en los cereales, y la elección de cultivarlo o no, estará más influenciada por la situación de mercado.

La eliminación de la obligación de dejar un 10% de las tierras en barbecho para recibir las ayudas, podría implicar el aumento de la superficie cultivada, aunque los expertos (Consejería de Agricultura de la JCCM y ADENA) han indicado que tampoco sería una cantidad importante en el acuífero de la Mancha Occidental. Esta medida tiene una gran incertidumbre porque se está debatiendo si a partir de 2009-2010 podría volver a aplicarse la obligación de retirar el 10% de las tierras en barbecho. La alta incertidumbre de esta medida, junto al esperado limitado efecto en el acuífero de la Mancha Occidental, hace que no se tome como una medida de gran trascendencia, aunque se tiene en cuenta que favorece al cultivo de cereales.

También hay que tener en cuenta la ayuda agroambiental de los sistemas extensivos de secano, debido a que podría ayudar a la venta de derechos, como ayuda de acompañamiento a la venta. Esta ayuda supone 125 €/ha. Según estimaciones de la CHG, podrían acogerse hasta 10.000 ha de los actualmente en regadío, aunque probablemente

serían las mismas tierras que vendieran sus derechos de riego. No obstante, es importante porque apoyaría a la venta de derechos en tierras de herbáceos.

- Mercado de los biocombustibles:

El aumento de los biocombustibles implicaría un aumento del precio de los cereales, lo que favorecerá a los cereales en regadío, especialmente al maíz; siguiendo esta tendencia, es probable que aumenten los cereales intensivos, como el maíz, en detrimento de los demás cereales, como el trigo y la cebada. De todas formas, el maíz igual tampoco aumenta mucho, porque su explotación conlleva más costes asociados que el trigo y la cebada, y además hay mucha incertidumbre en este sector. Además, si la industria local no demanda biocombustibles a escala local, este mercado no forzará la plantación de nuevos cultivos dedicados a ello, como el maíz. La Junta de Comunidades de Castilla la Mancha no tiene previsto dar ayudas adicionales a las de la Unión Europea porque no hay trazabilidad, y así, las industrias podrían apropiarse de las subvenciones destinadas a los agricultores. Además ya no hay ayudas específicas al girasol ni al maíz (aparte del pago único).

Teniendo esto en cuenta, se puede concluir que las consecuencias en la futura extensión de los cereales se pueden resumir en dos escenarios principales:

a) Que se limite la venta de derechos de riego en las superficies de cereales, por el mantenimiento de sus precios, debido a un conjunto de diferentes circunstancias. También podría producirse la sustitución de algunas superficies de trigo o cebada por maíz.

b) La venta de una gran superficie de cereales, a pesar del mantenimiento de los precios. Esto podría ser debido a que también suban sus costes, a los mayores beneficios de los cultivos alternativos, y al apoyo de las ayudas a la extensificación.

Viñedo

Hay que tener en cuenta cuatro aspectos principales:

1) El precio del vino ha subido significativamente: en el 2006 era de 2 pts/l, y en el 2007 ha subido a 3 pts/l (+50%).

2) Una mejora de la comercialización del vino llevaría a elevar su precio.

3) Plan de reconversión del viñedo de la Consejería de Agricultura. En el acuífero de la Mancha Occidental no se van a conceder más ayudas, aunque todavía falta por llevarse a la práctica ayudas que se han concedido en años precedentes.

4) Organización Común de Mercado (OCM) del vino, que está vigente hasta el año 2013:

- Se mantienen sus ayudas al mercado (en el caso del viñedo, a la destilación y a los años de crisis), pero dentro de 4 años dejará de subvencionarse el vino para quemar para hacer alcohol (destilación) y habrá una liberalización del sector.

- Prohibición de plantar nuevos viñedos y subvención por arrancarlos hasta el año 2013 y liberalización de los derechos de plantación a partir del 2013. Estas medidas implican el arranque de viñedos, aunque afectará principalmente a los viñedos poco rentables o de agricultores mayores, por lo que la mayoría de la superficie arrancada será de secano. No obstante, hay que tener en cuenta que también puede afectar al viñedo en regadío asociando esta medida con la medida de la CHG de venta de derechos; un agricultor de viña podrá vender sus derechos de riego, y recibir la ayuda por arranque. A partir del año 2013 podría aumentar la superficie de viñedo en regadío, al liberarse los derechos de plantación.

- Antes no recibían pago único, pero a partir del año 2009 si van a recibirlo, lo que puede favorecer que se sustituya cereal por viñedo.

Todas estas medidas pueden conducir: a) a una mayor calidad y menor cantidad producida, lo que significaría una extensificación de los viñedos y, por tanto, un menor uso de agua, o b) a una mayor intensificación para competir, y por tanto mayores consumos de agua.

Teniendo esto en cuenta, se puede concluir que las consecuencias en la futura extensión del viñedo pueden ser:

a) Limitar de forma importante la venta de derechos de riego de viñedos: por el ligero aumento experimentado por los precios, sostenido o reforzado por la reforma de la OCM, y la posibilidad de recibir el pago único.

b) Favorecer la venta de derechos de riego en tierras de viña, influenciado por circunstancias tales como un descenso de los precios, consecuencias negativas de la OCM no previstas, importantes excedentes y las ayudas al arranque del viñedo

Hortícolas

La mayor novedad de la nueva OCM de Cultivos hortofrutícolas, es que se ha aprobado que los nuevos hortícolas que se cultiven en tierras que reciben pago único, seguirán recibiéndolo. Esto puede favorecer un aumento de la superficie de hortícolas en detrimento de los cereales.

En los productos hortícolas es donde más se nota la falta de estrategias y organización de los cultivos en la región. Después de un año de buenos precios de un determinado cultivo hortícola, al año siguiente es plantado masivamente, lo que produce muchos excedentes y un hundimiento de los precios.

Teniendo esto en cuenta, se puede concluir que las consecuencias en la futura extensión de los cultivos hortícolas pueden ser:

a) Que se dificulte la venta de derechos en tierras de hortícolas, por la posibilidad de recibir el pago único y por los mayores beneficios que se obtienen por estos cultivos.

b) Que se favorezca la venta de derechos de agua de tierras con cultivos hortícolas, por la coincidencia de excedentes y de bajadas en los precios.

Barbechos

El abandono de tierras por la avanzada edad de los agricultores es poco probable. Las tierras siguen cultivándose a tiempo parcial, se arriendan, se venden, están apareciendo empresas agrarias que las cultivan, etc. Además, las explotaciones cada vez tienen mayor tecnificación y, por lo tanto, se requieren menos trabajadores.

La compra de derechos y de tierras de regadío parece más previsible en tierras de cereales y menos en tierras de hortícolas y viñedo. Como conclusión final a la situación de mercado, la consecuencia más probable por la subida de los precios de los cereales, no será tanto la compra de derechos de tierras con otros cultivos, como la mayor reticencia a vender de los propietarios con tierras con cereales.

Escenarios agrícolas

Los escenarios de mercado y políticas agrarias se han introducido en la red bayesiana como diferentes distribuciones de cultivos. A cada escenario le corresponde una distribución de cultivos concreta, que es el porcentaje que ocupa cada tipo de cultivo en el total de la superficie de regadío en el acuífero de la Mancha Occidental.

Dependiendo de las políticas agrícolas que se adopten y de sus consecuencias, así como de la deriva de los mercados agrícolas, la venta de derechos de agua en unos cultivos, será más ventajosa que en otros. Ante la incertidumbre que acompaña a la situación futura, se han construido diferentes escenarios que representan las diferentes situaciones que se pueden dar.

Las diferentes políticas de la CHG también podrían influir en la distribución de cultivos:

- "La venta de derechos" puede hacer que desciendan más unos cultivos que otros. Lo más probable es que se vendan más tierras de cereal y de viñedo que de hortícolas.

- La "Cesión de derechos de riego a tierras sin derechos", según las prioridades fijadas en el PEAG, se devolverán preferentemente a explotaciones con viñedo y hortícolas y menos a cereales.

- Respecto a la "Capacidad para cerrar pozos ilegales" no existen datos concretos de qué cultivos hay en las tierras sin derechos de riego, aunque los agentes interesados opinan que predomina el viñedo. Por tanto mayor capacidad de control tendría como consecuencia una disminución de la tierra de viñedo en regadío.

Es importante señalar el hecho de que la venta de derechos va a efectuarse por explotación, es decir, que el Consorcio comprará los derechos de riego de toda la explotación y no sólo los de una parte. Esto impedirá que se puedan vender derechos sólo de tierras con cereales, por ejemplo, y en todas aquellas que tengan más de un cultivo, tendrán que dejar de regarlos todos. Además, las tres medidas comentadas en los párrafos precedentes podrían compensar a otras, y todas se verán influidas por la situación agraria. Por tanto, se ha considerado apropiado incorporar las medidas de la CHG sólo como

descenso de la superficie de regadío, y a partir del análisis de políticas y mercados agrícolas, definir cuál sería la reducción de superficie de cada tipo de cultivo.

A continuación se explican los diferentes escenarios considerados, que representan la proporción ocupada por cada cultivo al final del periodo estudiado, es decir, en el año 2015, una vez que se hayan aplicado las medidas contempladas en el PEAG (Tablas 5.27 y 5.28).

Escenario A "Actual"

Distribución de cultivos correspondiente a los datos incluidos en los datos de Teledetección para el año 2005. Fuente de los datos: PEAG. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 0. Documento de síntesis. Pág. 14. Fuente: Teledetección (2005)

Escenario B "Vino de alta calidad"

En este escenario la superficie de cereales se reduce un 30% porque la venta de derechos se produce principalmente en superficie de cereal. Pasa a ocupar de un 30% a un 20% de la superficie total, distribuyéndose dicho porcentaje entre hortícolas, viñedo y otros cultivos. Este escenario ocurriría respondiendo a las siguientes hipótesis:

- Los precios de los cereales se mantienen relativamente bajos (aunque mayores que en la pasada década);

- La administración apoya a la vid y a los hortícolas más que a los cereales;

- El viñedo se beneficia de un aumento de la calidad del vino producido y de un aumento en su valoración;

- Este escenario también contempla la posibilidad (poco probable por las nuevas medidas que se van a adoptar, pero posible conociendo la historia de la región) de que una importante superficie de viñedo siguiese cultivándose a pesar de no tener derechos de uso de agua, por una de las siguientes circunstancias:
    - Porque el Plan de Reconversión del Viñedo suponga un aumento importante del viñedo sin derechos.
    - Porque la capacidad de controlar las tierras sin derechos de riego no aumente como se espera, y por tanto, una gran parte de las tierras sin derechos (la mayoría de las cuales son viñedos) seguirían explotándose.

Escenario C: "Bio-combustibles"

Escenario en el que disminuye un 10% la superficie de viñas, repartiéndose dicho porcentaje entre hortícolas, cereales y otros cultivos. Responde a:

- El precio de los cereales se mantiene alto, apoyado por la construcción de plantas de bio-carburantes y por la alta demanda internacional;

- El precio del vino disminuye sensiblemente por importantes excedentes;

- Las ayudas de la OCM del vino al arranque de viñas, sumado a las ayudas por venta de derechos, suponen un gran aliciente que favorece la disminución de viñedo;

- Al contrario que en el escenario B, este escenario se vería favorecido por un exitoso control de los viñedos sin derechos de riego, que no crecerían e incluso podrían llegar a cerrarse.

Escenario D: "Mayor rentabilidad"
Escenario en el que se produce una gran venta de superficie de cereales y de viñedo, y en el que los hortícolas son el refugio de muchas explotaciones, que sólo pueden mantenerse cultivando hortícolas.

Escenario E: "Sin cereales"

Por último, se ha incluido un escenario extremo, utilizado más como hipótesis de prueba que como escenario posible. En este escenario se ha reducido del todo la proporción de regadíos dedicada a los cereales, pasando a ser el viñedo y los cultivos hortícolas los cultivos principales. Este escenario se ha incluido porque durante las "simulaciones" de la red bayesiana, se comprobó que los dos escenarios que permitían reducir las extracciones manteniendo mayor producción económica agrícola y mayor número de empleos, eran aquellos en los que los cereales ocupaban menos extensión. Se ha hecho para comprobar si esta tendencia se corrobora al eliminar por completo los cereales.

Por tanto, este escenario no se ha construido como posible situación futura, si no para evaluar una situación hipotética, lejana a la realidad.

Tabla 5.27. Porcentaje de la superficie de regadío del acuífero, que ocuparía cada tipo de cultivo en los cinco escenarios considerados.

Escenarios de mercado y políticas agrarias					
	Escenario A "Actual"	Escenario B "Vino de alta calidad"	Escenario C "Biocombustibles"	Escenario D "Mayor rentabilidad"	Escenario E "Sin cereales"
Cereales grano	30%	20%	35%	25%	0%
Hortícolas	10%	15%	15%	20%	20%
Viñedo	35%	40%	25%	30%	55%
Barbecho	15%	15%	15%	15%	15%
Otros (C. industriales, leguminosas-grano, olivar, etc.)	10%	10%	10%	10%	10%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

Las probabilidades de los escenarios son iguales, ya que no se sabe cúal de ellos es más probable. Sólo el escenario "E" es claramente poco probable en 2015 (Tabla 5.28).

Tabla 5.28. Estados y probabilidades de Escenarios de mercado y políticas agrarias.

Estados y probabilidades de Escenarios de mercado y políticas agrarias		
Estados de Escenarios de mercado y políticas agrarias		Probabilidades en el año 2015
1	Escenario A "Actual"	25%
2	Escenario B "Vino de alta calidad"	25%
3	Escenario C "Biocombustibles"	25%
4	Escenario D "Mayor rentabilidad"	25%
5	Escenario E "Sin cereales"	0,01%

16. Escenarios: % de cada cultivo.

Los "Escenarios de mercado y políticas agrarias" se ven influidos por el "Plan de reconversión del viñedo" (variable nº 8). Como este programa se ha introducido como una variable en la red, su influencia no se incorpora automáticamente en la variable nº 15 ("Escenarios de mercado y políticas agrarias"), y debe incorporarse una variable intermedia. De otra forma, si el "Plan de reconversión del viñedo" aumentara o disminuyera la superficie de viñedo en regadío, no influiría en las variaciones de superficies de cada cultivo que se producen como resultado del mercado y de las políticas agrícolas.

Los estados de esta variable son los mismos que la variable anterior (nº 15 "Escenarios de mercado y políticas agrarias"), y la influencia del "Plan de reconversión del viñedo" se ha hecho variando las probabilidades de cada escenario (Tabla 5.29).

Tabla 5.29. Tabla de probabilidad condicional de la variable "Escenarios: % de cada cultivo", en la que se ve la influencia del "Plan de reconversión del viñedo" sobre los escenarios.

Escenarios: % de cada cultivo(C6_1)

Plan de Reconversión del Viñedo	1-50 ha					50-5.000 ha				
Escenarios de mercado y políticas agrarias	Actual	Vino de all	Biocombu	Alta rental	Sin cereale	Actual	Vino de all	Biocombu	Alta rental	Sin
Escenario A	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.1	0.05	
Escenario B	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	0.0	0.05	
Escenario C	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	
Escenario D	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	
Escenario E	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Plan de Reconversión del Viñedo	5.000-15.000 ha					15.000-25.000 ha			
Escenarios de mercado y políticas agrarias	in cereale	Actual	Vino de all	Biocombu	Alta rental	Sin cereale	Actual	Vino de all	Biocombu	Alta
Escenario A	0.0	0.8	0.0	0.1	0.1	0.0	0.8	0.0	0.16	
Escenario B	0.0	0.2	1.0	0.05	0.1	0.0	0.2	1.0	0.07	
Escenario C	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	
Escenario D	0.0	0.0	0.0	0.05	0.8	0.0	0.0	0.0	0.07	
Escenario E	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	

Plan de Reconversión del Viñedo		25.000-40.000 ha				
Escenarios de mercado y políticas agrarias	lta rental	Sin cereale	Actual	Vino de all	Biocombu	Alta rental	Sin cereale
Escenario A	0.15	0.0	0.7	0.0	0.2	0.2	0.0
Escenario B	0.15	0.0	0.3	1.0	0.1	0.2	0.0
Escenario C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
Escenario D	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	0.0
Escenario E	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0

17. Cambio climático

Son diferentes escenarios de cambio climático que influyen sobre tres grupos de variables:

a) sobre las variables agrícolas (al influir en la producción agrícola),

b) sobre las variables hidrológicas (al influir en los recursos renovables) y

c) sobre las variables de regadío (al influir en las necesidades de riego de los cultivos). A continuación se explican qué escenarios de cambio climático han sido escogidos.

Para definir los escenarios de cambio climático y estimar sus posibles consecuencias sobre las anteriores variables se ha consultado la bibliografía, sacándose las siguientes conclusiones:

1º. Escenarios socioeconómicos y de emisiones de gases de efecto invernadero

Lo primero que hay que hacer es definir unos escenarios sobre cómo se estima que serán las emisiones de gases de efecto invernadero en el futuro. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) ha establecido un conjunto de escenarios de emisiones, en función de diversos supuestos acerca del crecimiento de la población, de la evolución de las actividades socio-económicas, y del progreso tecnológico a lo largo del siglo XXI. Estos escenarios socioeconómicos sirven de base para calcular los escenarios de cambio climático que ha utilizado el IPCC y se han denominado Escenarios de emisiones (en inglés: *Special Report on Emission Scenarios*, SRES). Son los siguientes (IPCC SRES, 2001; Nakičenovič and Swart, 2000; Nakičenovič *et al.*, 2000):

A1. Reúne un conjunto de escenarios, caracterizados por un rápido crecimiento económico, por un crecimiento de población que llega al máximo a mediados de siglo, momento en el que empieza a disminuir, y por la introducción rápida de nuevas y más eficientes tecnologías. También se produce una convergencia entre las desigualdades de las diferentes regiones de la Tierra. Este escenario se subdivide en otros tres, en función de los cambios tecnológicos en el sector energético:

A1FI: intensivo en energías fósiles
A1T: en el que tienen gran importancia las energías no fósiles
A1B: escenario intermedio entre los dos anteriores

A2. Describe un mundo muy heterogéneo. Las políticas se orientan hacia un desarrollo regional más que global; la población crece sin freno, y los cambios tecnológicos son más lentos que en otros escenarios. La concentración global de CO_2 llegaría en el año 2100 a unos 850 ppm, un 120% más que la actual (MIMAM 2005).

B1. La población se comporta como en el escenario A1, pero la economía se orienta hacia los servicios y la información, con reducciones en el uso de materiales y el uso de tecnologías limpias y eficientes. El énfasis está en buscar soluciones globales, pero sin tomar iniciativas nuevas con respecto al clima.

B2. El énfasis se pone en las soluciones locales o regionales a la sostenibilidad, buscando equidad social y protección del medio ambiente. La población crece como en el escenario A2 aunque más lentamente. El crecimiento económico y el desarrollo tecnológico son más lentos que en los escenarios A1 y B1. La concentración global de CO_2 llegaría en el año 2100 a unos 760 ppm, aproximadamente el doble que la actual (MIMAM 2005).

Todos los escenarios deben considerarse como igualmente posibles, y ninguno tiene en cuenta posibles medidas para controlar las emisiones de efecto invernadero, ni siquiera el Protocolo de Kyoto (IPCC SRES, 2001). Por estas razones, los diferentes estados de la variable "Cambio climático" tienen la misma probabilidad (ver tabla 5.33).

Como conclusión final, el Informe Especial del IPCC sobre escenarios de emisiones (IPCC SRES, 2001) proyecta un aumento de las emisiones mundiales de Gases de efecto Invernadero de entre un 25% y un 90% (de CO_2-equivalente) entre 2000 y 2030

suponiendo que los combustibles de origen fósil mantengan su posición dominante en el conjunto mundial de fuentes de energía hasta 2030, como mínimo.

2º. Escenarios de cambio climático derivados de modelos climáticos globales

Con los datos de emisiones que provienen de los escenarios socioeconómicos, se completan los modelos climáticos globales, que tratan de proyectar cómo podría cambiar el clima en el futuro, dependiendo de la cantidad de gases de efecto invernadero que haya en la atmósfera. Algunos de los diferentes modelos climáticos globales que se han aplicado y que se toman como referencia en los estudios sobre las consecuencias del cambio climático, se han incluido en la Tabla 5.30.

Tabla 5.30. Estudios utilizando diferentes modelos climáticos globales.

Modelo	**Centro en el que se ha desarrollado**	**Resolución (lat/lon)**	**Periodos de tiempo contemplados**	**Referencia**
CGCM1	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canada	Atmósfera: ~3.7° x 3.7° Ocean: 1.8°x1.8°	1961-1990 2010-2039 2040-2069 2070-2099	Flato *et al.*, 2000
HadCM2	Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office, UK	2.5° x 3.75°	1961-1990 2010-2039 2040-2069 2070-2099	Johns *et al.*, 1997
HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office, UK	2.5° x 3.75°	1961-1990 2010-2039 2040-2069 2070-2099	Gordon *et al*, 2000 Pope *et al.*,2000
RegCM2	National Center for Atmospheric Research, USA	~50 km	2040s (1%/yr CO2 increase; boundary conditions from HadCM2)	Giorgi *et al.*, 1993
ECHAM4 (with OPYC3)	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	~2.8° x 2.8°	1961-1990 2010-2039 2040-2069 2070-2099	Roeckner *et al.*, 1996

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) da unas estimaciones globales, muy generales, de las proyecciones del promedio mundial del calentamiento en superficie, como resultado de las emisiones de cada escenario, que sitúa entre 1,8ºC y 4ºC al final del siglo XXI (IPCC, 2007; Tabla 5.31).

Tabla 5.31. Proyecciones del IPCC del promedio mundial del calentamiento en superficie, como resultado de las emisiones de cada escenario (IPCC, 2007).

Caso	**Cambio de temperatura (ºC en 2090-2099 respecto de 1980-1999)**	
	Estimación óptima	Intervalo probable
Concentraciones constantes en los niveles del año 2000	0.6	0.3 – 0.9
Escenario B1	1.8	1.1 – 2.9
Escenario A1T	2.4	1.4 – 3.8
Escenario B2	2.4	1.4 – 3.8
Escenario A1B	2.8	1.7 – 4.4
Escenario A2	3.4	2.0 – 5.4
Escenario A1FI	4.0	2.4 – 6.4

Las precipitaciones tienen un comportamiento mucho más regional, por lo que las proyecciones globales de su variación no son muy importantes para el presente estudio.

3º. Escenarios climáticos regionales a partir de los globales

Teniendo en cuenta las previsiones de los modelos globales, se utilizan modelos regionales para conocer con más precisión los cambios en cada región del planeta. El informe resumen del IPCC (Christensen *et al.*, 2007) integra los resultados de 21 modelos globales, y usa el escenario del IPCC denominado A1B, usando como fuente los datos climáticos de 1980-1999, y haciendo previsiones para los años 2080-2099. Para la Europa Mediterránea los resultados muestran un probable aumento medio de 3,5 ºC de la Temperatura media anual, y un descenso medio del 12% de las precipitaciones anuales. Los resultados de los modelos incluidos en otro informe del IPCC (Alcamo *et al.*, 2007) también proyectan un aumento de las temperaturas para toda Europa para el periodo 2070-2099 (tomando como referencia los años 1961-1990), de entre 2,5ºC y 5,5ºC para el escenario A2, y de entre 1ºC y 4ºC para el escenario B2, lo que es consecuente con los resultados del otro informe del IPCC anteriormente citado (Christensen *et al.*, 2007).

Giannakopoulos *et al.* (2005) realizaron un estudio de carácter regional centrado en Europa, en el que se analizaron los cambios que supondría para la Europa mediterránea, distinguiendo entre el sur y el norte de los países mediterráneos. Estos autores usaron los escenarios de emisiones SRES-A2 y SRES-B2 del IPCC (Tabla 5.31), y estaba basado en el modelo global HadAM3H. En sus resultados estimaron para España un aumento de las temperaturas de +1ºC/+3ºC para el periodo 2030-2060, y un descenso de las precipitaciones, pero sin llegar a concretar una cifra.

Como modelos más concretos que sirvan de referencia para el presente trabajo se han tenido en cuenta los siguientes dos trabajos:

a) El Ministerio de Medio Ambiente ha promovido y financiado el Proyecto ECCE (Efectos del Cambio Climático en España, MIMAM, 2005), que basa sus análisis en las simulaciones climáticas del proyecto de investigación PRUDENCE. El modelo español del proyecto PRUDENCE está anidado en el modelo global atmosférico HadM3 usando el modelo atmosférico regional PROMES. También ha tenido en cuenta los escenarios A2 y B2 (Tabla 5.31), y los resultados se han obtenido para el periodo 2070-2100 (Tabla 5.32). En sus aspectos esenciales, sus resultados se asemejan a los obtenidos por Räisänen *et al.* (2004) utilizando otro modelo regional de clima.

b) El Instituto Nacional de Meteorología ha obtenido en 2007, los resultados de la primera fase del proyecto de generación de escenarios regionalizados de cambio climático (INM 2007), contemplado en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Pernía y Fornés, 2008). En la Tabla 5.32 se muestra un resumen de sus resultados.

La mayoría de los estudios sobre el tema también hacen proyecciones de aumento en la intensidad, duración y frecuencia de sequías en el Sur de Europa (IPCC, 2007; Alcamo *et al.*, 2007; Lehner *et al.*, 2006).

En cuanto a la evolución temporal de los cambios hasta los años de referencia de los informes, y a los cambios de temperatura en la Península Ibérica, el informe del proyecto ECCE (MIMAM, 2005) contiene el siguiente enunciado:

"Aunque no puede suponerse que la evolución de tales cambios a lo largo del siglo tenga un comportamiento creciente perfectamente lineal, parece razonable suponer que en periodos anteriores a éste, tales cambios alcanzarían valores inferiores, como se deduce de los resultados obtenidos con los AOGCM (*Atmosphere-Ocean General Circulation Model*)".

Sin embargo, al analizar la evolución temporal de los cambios en las precipitaciones, el informe añade:

"no sería correcto realizar una simple interpolación temporal para deducir cambios de precipitación en periodos anteriores al 2071-2100" porque "ningún AOGCM simula una tendencia uniforme del cambio de precipitación estacional en la Península Ibérica a lo largo del siglo 21".

Ante la ausencia de datos más concretos o definitivos, se ha decidido utilizar una tendencia creciente lineal para calcular las estimaciones de los efectos del cambio climático para el año 2015. De esta forma el análisis será conservador: se proyectan las posibles consecuencias del cambio climático para el año 2015 con un aumento más rápido que las medias de las proyecciones. Se asume que es una aproximación y no pretende predecir la situación futura con total seguridad. Precisamente las redes bayesianas tienen la capacidad de explicitar y hacer visibles este tipo de incertidumbres. Para ello, se procede asignando probabilidades amplias a las diferentes opciones. En este caso, como se puede ver en la tabla de probabilidades de esta variable (Tabla 5.33), se ha asignado la misma probabilidad a la existencia de un cambio climático severo (Escenario A2), un cambio climático moderado (B2), y el caso de que los efectos del cambio climático no tengan importantes consecuencias para el problema tratado en esta red bayesiana.

Tabla 5.32. Conjunto de proyecciones que se han encontrado para las consecuencias del cambio climático en España.

Referencia	Periodo	Escenario de referencia (años entre el año de partida y el final)	Variación de Tª Media	Variación de P media anual	Cambio anual		Cambio hasta 2015	
					Tª (ºC)	P (mm/año)	Tª (ºC)	P (mm/año)
Christensen *et al*., 2007	2080-2099	A1B (90)	+3,5 ºC Europa Mediterránea	-12%	+0.04	-0.13%	+0,6	-2%
			+3,5ºC / +4ºC Centro Península Ibérica	Entre -15% y -20%	+0.04	-0,16% / -0,22%	+0,7	- 2,5% / - 3,3 %
Alcamo *et al*., 2007	2070-2099	A2 (80)	2,5ºC y 5,5ºC		+0,03 / 0,06	-	+0,5/+0,9	-
		B2 (80)	1ºC y 4ºC		+0,01 / +0,05	-	+0,2/+0,75	-
IPCC, 2007	2040-2069	A2 (65)	+1ºC /+5ºC Centro Península Ibérica	-40 mm en verano	+0,02 / + 0.07	-	+1,1	-
Johns *et al*., 1997	2040-2049	2XCO2 (45)	+4ºC (+40%ºC)	-90mm (-9,5%mm)	+ 0,09	- 0,2%	+01,3	- 3,1%
Starke and Jacob, 2007 (NeWater)	2021-2050	A1B / B1 (35)	+1ºC /+2ºC Centro Península Ibérica	Sin cambios	+0,03 / +0,06	-	+0,4/+0,9	-
		A2 (35)	+1ºC /+2ºC Centro Península Ibérica	Entre -10% y -40%	+0,03 / +0,06	- 0,3% / -1,1	+0,4/+0,9	- 4% / - 17%
Giannakopoulos *et al*., 2005	2030-2060	A2 (45)	+3ºC	descenso sin concretar cifras	+0,02	-	+0,3	-
		B2 (45)	+1ºC		+0,07	-	+1	-
INM 1995 (En: Pernía y Fornés, 2008)	2060	(60)	+2,5ºC Tª Media	-8%mm	+0,04	- 0,13%	+0,6	- 2%
Libro Blanco del Agua de España (MIMAM 2000)	2030	1xCO2 / 2XCO2	+1ºC/+4ºC	-5% / -15%	+	- %	+	- %
		Escenario 1 (30)	+1ºC	=	+0,03	-	+0,5	-
		Escenario 2 (30)	+1ºC	-5%	+0,03	- 0,17%	+0,5	-2,5%
		Escenario 3 (30)	+4ºC	-15%	+0,13	- 0,5%	+2	-7,5%
INM, 2007	2071-2100	A2 (85)	temperaturas máximas 5º y 8º C de promedio anual	-10%/-40%	+0,06 / + 0,09	- 0,12% / -0,47%	+0,9/+1,4	-1,8% / -7%
		B2 (85)	temperaturas máximas 3º y 6º C de promedio anual	-	+0,04 / +0,08	-	+0,5/+1	-
MIMAM, 2005	2071-2100	A2 Guadiana (85)	+3 ºC /+7ºC anual	-45/-157mm/año	+0,03 / +0,08	-0,5/-1,8 mm/año	+0,45/+1,2	-8/-28 mm/año: -0,02%/-0,07%
		B2 Guadiana (85)	+2 ºC /+6ºC anual	-31/-90mm/año	+0,02 / 0,07	-0,4/-1 mm/año	+0,3/ + 1	-6/-16 mm/año: -0,01%/-0,4

Información de interés para entender la algunas celdas de la tabla: Precipitación media en el Alto Guadiana: 400mm/año.

Resumiendo las proyecciones en unos números representativos medios, los estados de la variable "Cambio Climático" se corresponden con los de la Tabla 5.33. El informe del IPCC sobre escenarios (IPCC SRES, 2001) especifica que todos los escenarios tienen la misma incertidumbre, por tanto, se ha proporcionado la misma probabilidad a cada escenario (33,3% a cada una).

Tabla 5.33. Estados y probabilidades de la variable "Cambio Climático".

Estados de Cambio climático				
		Tª	P	Probabilidades Año 2015
1	Sin cambio climático (actualidad)	=	=	33%
2	Cambio Climático moderado (B2)	+0,5ºC	-2,5%	33%
3	Cambio Climático severo (A2)	+1ºC	-7%	33%

18. Rendimiento (tn/ha)

Es el rendimiento de producción de cada cultivo. Como hay diferentes rendimientos, esta variable tiene 3 estados que son diferentes rendimientos en general para todos los cultivos: alto, medio y bajo (Tabla 5.34). Es decir, si los rendimientos son altos, se estima que todos los cultivos del acuífero de la Mancha Occidental tendrán rendimientos altos. No se ha intentado que cada cultivo tuviera un rendimiento diferente, porque requeriría construir una red bayesiana mucho más compleja, y el objetivo de esta red no es evaluar las diferencias de rendimientos entre los cultivos.

Tabla 5.34. Estados de la variable "Rendimiento".

Estados de Rendimiento (tn/ha)	
1	Rendimientos Altos
2	Rendimientos Medios
3	Rendimientos Bajos

La variable "Rendimiento" se ha utilizado para obtener la "Productividad" (variable nº 20) de cada cultivo, tras multiplicarla por los "Precios de los productos agrarios" (nº 19). Para ello, a cada estado de la variable le corresponden unos valores (kg/ha) en cada cultivo (Tabla 5.35). Estos valores son los que se multiplican por los "Precios de los productos agrarios".

Tabla 5.35. Rendimiento de cada cultivo correspondiente a los estados de la variable "Rendimiento".

Rendimiento de los cultivos de regadío (tn/ha)				
Tipos de Cultivos	**Cultivos**	R. Bajos (tn/ha)	R. Medios (tn/ha)	R. Altos (tn/ha)
Cereales	Trigo blando	3,004 (1)	3,4	3,71 (2)
	Cebada	2,961 (1)	3,4	3,94 (2)
	Avena	-	3,45 (2)	-
	Maíz grano	10,76 (1)	10,9	11,02 (2)
Hortalizas	Patata	-	28,03 (3)	-
	Tomate	-	45 (3)	-
	Sandía	-	65,89 (1)	-
	Melón	26,39 (2)	30,7	35,04 (1)
	Pimiento	21,33 (2)	22,6	23,86 (1)
	Ajo	7,06 (2)	7,1	7,1 (1)
	Cebolla	50,76 (2)	67	83,25 (1)
Otros	Girasol		1,11 (1)	
	Remolacha	75,86 (1)	76,6	77,29 (2)
	Forraje (alfalfa)	-	13,52 (2)	-
Viñedo	Viñedo	7,71 (1)	9,2	10,68 (2)

Fuente de los datos:
(1) PEAG. B. Memoria técnica (Anexo 7). 2- Estudio Socioeconómico. 2.1 Estudio socioeconómico del ámbito territorial, pág 35. (A partir de los Análisis de la economía de los sistemas de producción del MAPA 2002).
(2) PEAG. B. Memoria técnica (Anexo 7). 8.1. Definición de escenarios de uso del agua en la agricultura del Acuífero 23. Pág. 7. Consultado el 15/10/2007. (A partir de los Anuarios Estadística Agroalimentaria (MAPA), promedio de los últimos años).
(3) Anuario de estadística agroalimentaria 2004, (MAPA).
http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm.

Consecuencias del Cambio Climático en los rendimientos agrícolas

Las consecuencias del cambio climático en la producción de los cultivos no están claras porque interviene un alto número de variables de forma compleja, y porque dependerá tanto de las características regionales de cada cultivo, como de los efectos del cambio climático sobre dicha región. Sin embargo, se ha decidido evaluar los efectos que el cambio climático podría tener sobre los rendimientos de los cultivos. Los efectos que más influirán serían a) la posible reducción del periodo de crecimiento de los cultivos debido a que el aumento de las temperaturas acorte su periodo de crecimiento, y b) la disminución de la disponibilidad de agua (Bindi and Moriondo 2005).

La mayoría de los estudios son a escalas globales o regionales y no llegan a concretar cifras de referencia. Así por ejemplo, de los modelos climáticos globales se deduce que la productividad agrícola disminuirá en los países mediterráneos mientras que aumentará en el norte de Europa (Olesen and Bindi, 2002; Alcamo *et al.*, 2005; Maracchi *et al.*, 2005).

Para el caso concreto de España hay estudios que concluyen que puede haber un aumento de los rendimientos (Parry *et al.,* 2004; Ewert *et al.,* 2005) como resultado del aumento de la concentración de CO_2 y de las mejoras tecnológicas, que podrían compensar las consecuencias negativas del cambio climático. Sin embargo, en los mismos artículos así como en otros (Ewert *et al.*, 2005; Giannokopoulos *et al.*, 2005;

Audsley *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2002; Olesen *et al.*, 2007; Alcamo *et al.*, 2007), se concluye que para el caso concreto de la parte sur de la Península Ibérica, son esperables descensos de rendimientos, incluso en cultivos en regadío, como por ejemplo los siguientes descensos en las cosechas para 2050 (Alcamo *et al.*, 2007):

Legumbres: de -30% a + 5%
Girasol: de -12% a +3%
Tubérculos: de -14 a +7%

Bindi y Mariondo (2005) estudian posibles futuros cambios en los rendimientos para España (y para otros países mediterráneos). Los resultados no son definitivos, ya que se prevé que los rendimientos de algunos cultivos aumenten, mientras que de otros se prevé que disminuyan. También dependen mucho de los escenarios de cambio climático escogidos, ya que para España en el escenario A2, los rendimientos de la mayoría de los cultivos descienden, mientras que en el escenario B2 (con menores aumentos en las concentraciones de CO_2) aumentan. En cualquier caso, las variaciones no llegan a ser mayores del 10%, aunque en su estudio señalan que las variaciones podrían llegar a ser mayores ya que sus estimaciones son conservadoras.

Finalmente, Quiroga e Iglesias (2008) han evaluado con mayor detalle dichas consecuencias en España. En dicho estudio se ha tenido en cuenta la utilización de técnicas de adaptación al cambio climático, tales como adelantar las temporadas de los cultivos, utilizar variedades adaptadas a las nuevas necesidades, o usar variedades con tasas de crecimiento más lentas. Es muy importante señalar que una de las adaptaciones también consideradas es usar más agua de riego, que podría llegar a ser un 40% mayor según Bindi y Moriondo (2005). Para estas estimaciones (Tabla 5.36) no se han tenido en cuenta restricciones en la disponibilidad de agua a los cultivos, como tampoco restricciones en el uso de fertilizantes u otros agroquímicos, lo que puede hacer que se haya sobre-estimado las capacidades de adaptación.

Tabla 5.36. Impacto del cambio climático en los rendimientos de los cultivos con respecto al escenario actual. A partir de Quiroga e Iglesias (2008).

Escenarios de cambio climático	Modelos de circulación general	Año futuro	Porcentaje de cambio de los rendimientos	Cambio anual	Cambio hasta 2015
A2	**HadCM3/ HIRHAM**	**2080**	–11%	-0,14%	-2%
	ECHAM4/RCA 3	**2080**	–26.2%	-0,33%	-5%
		2030	+19.7%	+0.25%	+3,7%
B2	**HadCM3/ HIRHAM**	**2080**	–0.1%	0%	0%
	ECHAM4/RCA 3	**2080**	+0.1%	0%	0%

Estos resultados coinciden con los procesos biofísicos simulados en los modelos de cultivos y con otros estudios previos (Olesen and Bindi, 2002; Iglesias *et al.*, 2000; Parry 2004), lo que es indicativo de un alto nivel de confianza o fiabilidad. A esto hay que sumarle las previsiones de mayor frecuencia e intensidad de fenómenos atmosféricos (EEA, 2005; Parry, 2000; Meehl and Tebaldi, 2004; Lehner *et al.*, 2006; Beniston *et al.*, 2007), lo que aumentará las variaciones en las cosechas de unos años a otros (Jones *et al.*, 2003) y puede llevar a disminuir las cosechas medias (Trnka *et al.*, 2004). En particular para el Mediterráneo, los resultados muestran que lo más probable es que aumente la frecuencia e intensidad de sequías y periodos con altas temperaturas, así como otros fenómenos con consecuencias directas sobre los

rendimientos, tales como altas temperaturas durante la floración o grandes lluvias en periodo de siembra (Alcamo *et al.*, 2007).

Finalmente se han resumido estas estimaciones para introducirlas en la red bayesiana. Los valores adoptados son los siguientes los incluidos en la Tabla 5.37.

Tabla 5.37. Valores de las variaciones que cada escenario de "Cambio climático" tiene sobre los "Rendimientos", en la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental, basado en los resultados de Quiroga e Iglesias (2008).

Cambio climático	**Cambio en los rendimientos de los cultivos**	
	Anual	**Hasta 2015**
Moderado (A2) **HadCM3/ HIRHAM**	-0,14%	-2%
Severo (A2) **ECHAM4/RCA3**	-0,33%	-5%

Dichos porcentajes de cambio se han aplicado sobre los diferentes estados de la variable "Rendimiento" (Tabla 5.38).

Tabla 5.38. Estados y probabilidades de la variable "Rendimiento".

Estados de Rendimiento	Probabilidades de "Rendimiento" en el año 2015		
	Ausencia de C.C.	C.C. Moderado	C.C. Severo
Rendimientos Altos	33%	31%	28%
Rendimientos Medios	33%	33%	33%
Rendimientos Bajos	33%	35%	38%

19. Precios de los productos agrícolas (€/ton)

Representa los precios de cada cultivo de regadío (Tabla 5.39). Cada estado (Precios altos, P. medios o P. bajos) está asociado a unos precios reales de los productos agrarios (Tabla 5.40). Estos precios reales se han utilizado para obtener la "Productividad" (variable nº 20) de cada cultivo, tras multiplicarla por los "Rendimientos" (nº 18).

Tabla 5.39. Estados y probabilidades de la variable "Precios de los productos agrarios".

Estados de Precios de los productos agrícolas (€/ton)	Probabilidades en el año 2015 de" Precios de los productos agrarios" (€/ton)
Precios Altos	33%
Precios Medios	33%
Precios Bajos	33%

Tabla 5.40. Precios reales de los productos agrarios que corresponden a cada estado de la variable "Precios de los productos agrarios".

Precio (€/ton)					
Tipos de Cultivos	Cultivos	Bajos[1]	Medios	Altos	Subvenciones (€/ha) [1]
Cereal grano	Trigo blando	150,0	187,5 [2]	225,0 [5]	270,9
	Cebada	130,0	162,5 [2]	195,0 [5]	270,9
	Avena	140,0	175,0 [2]	210,0 [5]	270,9
	Maíz grano	143,6	146,8 [2]	215,4 [5]	346,5
Hortalizas	Melón	122,2	196,1 [2]	270,0 [4]	0
	Tomate		367,0 [3]		0
	Pimiento	186,4	428,2 [2]	670,0 [4]	0
	Ajo	933,5	976,8 [2]	1020,0 [4]	0
	Cebolla	56,8	98,4 [2]	140,0 [4]	0
	Patata		177,0 [3]		0
Otros	Alfalfa		120,0 [4]		0
	Remolacha	52,6	51,3 [2]	50,0 [4]	0
Viñedo	Regadío	193,2	336,6 [2]	480,0 [4]	0

Origen de los datos:
[1] Martínez Santos, 2007: Elaboración a partir de los datos del borrador del PEAG de septiembre de 2006.
[2] Precios medios: la media de los anteriores.
[3] Tomate y patata: precios obtenidos del MAPA, media de los precios 1995-2004.
[4] PEAG Anejo I. Definición de escenarios de uso del agua en la agricultura del Acuífero 23. Página 7. Fuente: Anuarios de Estadística Agroalimentaria (MAPA).
[5] Los precios están obtenidos aumentando los "Precios Bajos" un 50% para que sean más parecidos a los precios de 2007. Coinciden con los precios del 14 de mayo de 2008 de la Lonja de Ciudad Real: trigo panificable (blando)=228 €/ton; Cebada = 190 €/ton; Avena = 194 €/ton; Maíz = 210 €/ton. Fuente:
http://www.camaracr.org/explotacion/pb/lonja/verMesa.aspx?menuid=&idSesion=283&fecha=14/05/2008&idMesa=1&denominacion=Mesa%20Cereales%20y%20Leguminosas

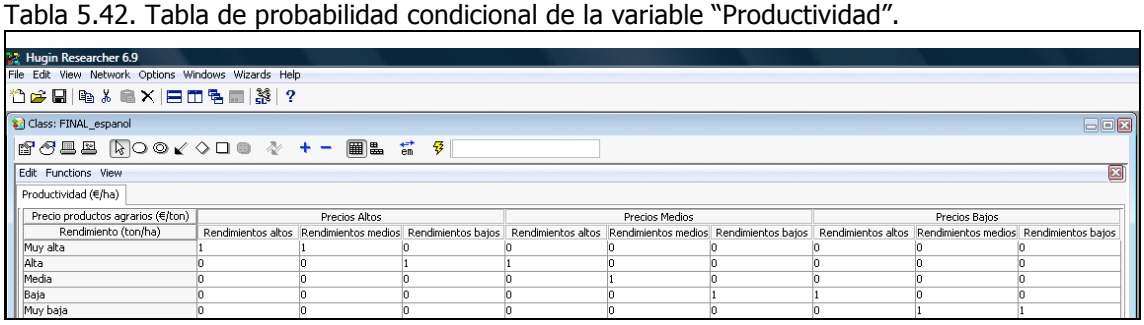
20. Productividad (€/ha)

Representa los euros que un agricultor hipotético obtendría por una hectárea de cada tipo de cultivo (es decir, la producción económica bruta de una hectárea). Depende del "Rendimiento" y de los "Precios de los productos agrícolas" (variables 18 y 19). Los estados de esta variable son: Muy baja, baja, media, alta y muy alta (Tabla 5.41). Sus probabilidades dependen de las dos variables anteriores (nº 18 y nº19), y su tabla reprobabilidad condicional se ha incluido es la tabla 5.42.

Tabla 5.41. Estados de la variable "Productividad".

Nº	Estados de Productividad (€/ton)
1	Muy baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy alta

Tabla 5.42. Tabla de probabilidad condicional de la variable "Productividad".



Hugin Researcher 6.9

File Edit View Network Options Windows Wizards Help

Class: FINAL_espanol

Edit Functions View

Productividad (€/ha)

Precio productos agrarios (€/ton)	Precios Altos			Precios Medios			Precios Bajos		
Rendimiento (ton/ha)	Rendimientos altos	Rendimientos medios	Rendimientos bajos	Rendimientos altos	Rendimientos medios	Rendimientos bajos	Rendimientos altos	Rendimientos medios	Rendimientos bajos
Muy alta	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Alta	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Media	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Baja	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Muy baja	0	0	0	0	0	0	0	1	1

A su vez, cada estado de esta variable tiene asociada una productividad para cada tipo de cultivo, que será introducida en la red bayesiana a través de la variable "Productividad de cada escenario" (variable nº 21). Se calcula multiplicando las variables "Rendimientos de cada cultivo" por los "Precios"), y sumando las subvenciones de la PAC a los cereales (Tabla 5.43).

Tabla 5.43. Productividad real de los productos agrarios, que corresponden a cada estado de la variable "Productividad".

	Productividad (€/ha)				
Tipos de cultivos	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
CEREALES	777	866	926	999	1.135
HORTÍCOLAS	4.178	5.429	6.666	7.597	9.465
VIÑEDO	1.634	2.329	3.097	3.648	4.771
OTROS	1.874	1.904	1.926	1.947	1.979

21. Productividad de cada escenario(€/ha)

Como cada "Escenario de mercado y políticas agrícolas" (variable nº 15) tiene asignada una proporción de la superficie ocupada por cada cultivo, multiplicando dicha proporción por la "Productividad" de cada cultivo (variable nº 20), se puede obtener la productividad económica por hectárea de cada escenario: es la producción bruta (en euros) que se obtendría por una "hectárea media" de cada escenario (Tabla 5.44).

Tabla 5.44. Productividad económica bruta de cada "Escenario de mercado y políticas agrícolas".

	Productividad (€/ha)				
Escenarios	Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
A	3.155	2.531	2.221	1.808	1.410
B	3.753	2.993	2.616	2.110	1.623
C	3.208	2.596	2.291	1.890	1.495
D	3.806	3.058	2.686	2.192	1.707
E	4.715	3.721	3.229	2.557	1.921

Resumiendo los estados de productividad en un número menor de intervalos, los estados de "Productividad de cada escenario" se presentan en la Tabla 5.45. Sus probabilidades vienen definidas por las variables de las que depende: "Escenario de mercado y políticas agrícolas" (variable nº 15) y "Productividad" (nº 20).

Tabla 5.45. Estados de la variable "Productividad de cada escenario".

Estados de Productividad de cada escenario (€/ha)	
1	4.000-3.500
2	3.500-3.000
3	3.000-2.500
4	2.500-2.000
5	2.000-1.500

22. Producción económica del regadío (Millones de euros(M €))

Es la producción económica agrícola bruta del regadío, es decir, la suma de los euros producidos por todos los cultivos de regadío en la superficie del acuífero de la Mancha Occidental (Tabla 5.46).

Definición de Producción bruta: *suma del valor del producto o productos principales y del producto o productos secundarios. Dichos valores se calculan multiplicando la producción por unidad por el precio a la salida de la explotación, excluido el impuesto sobre el valor añadido. En la producción bruta se incluye así mismo el importe de las subvenciones vinculadas a los productos, a las superficies y al ganado* (Juan Valero, Ortega y Tarjuelo 2003).

En este estudio se ha calculado multiplicando la "Productividad de cada escenario" por las hectáreas totales que hay en regadío, es decir, por la variable "Superficie regable" (variables 21 y 14, respectivamente). Es el Valor monetario de la producción bruta.

Tabla 5.46. Estados de "Producción económica del regadío".

Estados de Producción económica del regadío (Millones de euros)	
1	1.200-2.000
2	800-1.200
3	725-800
4	625-725
5	475-625
6	325-475
7	212-325
8	137-212
9	0-137

23. UTAs/ha de cada escenario

Es el número de Unidades de Trabajo Agrícola (UTA, agricultores o trabajadores agrícolas) que se utiliza para producir cada cultivo, por una hectárea tipo de cada escenario agrario.

La definición de unidades de trabajo agrícola-año (UTA, o número de jornadas completas o parciales) es: *una UTA equivale al trabajo que realiza una persona a tiempo completo a lo largo de un año* (INE, Censo Agrario Español, 1999).

Los valores que toma esta variable varían mucho dependiendo de las fuentes consultadas, como se puede comprobar en la Tabla 5.47.

Tabla 5.47. Datos, provenientes de diferentes fuentes, de las Unidades de Trabajo Agrícola (UTAs) que se utilizan en una hectárea de cada cultivo.
Fuente:
PEAG. B. Memoria técnica (Anexo 7). 8.1. Definición de escenarios de uso del agua en la agricultura del Acuífero 23. Pág. 10. Consultado el 22/10/2007. (Elaboración propia a partir de los "Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas de Castilla-La Mancha" (MAPA)).
Consejería de agricultura de Castilla la Mancha.
De Juan Valero, J.A., J.F. Ortega Álvarez, J.M. Tarjuelo Martín-Benito. 2003. Sistemas de cultivo. Evaluación de itinerarios técnicos. Mundi-Prensa.

UTAs/ha de cultivo					
Cultivos	PEAG			Consejería de Agricultura	De Juan, *et al.*, 2003
	Días de trabajo de una persona al año	Días de trabajo de una UTA	UTAs/ha	UTAs/ha	UTAs/ha
Trigo	5	240	0,021	0,018	0,011
Cebada	6	240	0,025	0,018	0,010
Avena	4	240	0,017	0,018	0,016
Melón	77	240	0,321	0,125	0,321
Pimiento	341	240	1,421	0,35	0,247
Ajo	57	240	0,238	0,2	0,406
Cebolla	166	240	0,692	0,2	0,174
Viñedo	92	240	0,383	0,09	0,195
Barbecho	0	240	0,000	0	0
Remolacha	27	240	0,113	0,14	0,014
Alfalfa	10	240	0,042	0,04	0,021
Maíz	10	240	0,042	0,029	0,014

A partir de estos datos se ha obtenido las UTAs que habría por una hectárea tipo de cada escenario agrícola: es el resultado de multiplicar las UTAs/ha de cada cultivo por la proporción que cada cultivo ocupa en las hectáreas tipo de los "Escenarios agrícolas" (variable nº 15). Los datos de De Juan *et al.* (2003) son intermedios entre las otras dos fuentes, por lo que han sido considerados como los más probables (Tabla 5.48).

Tabla 5.48. Estados y probabilidades de la variable "UTAs/ha de cada escenario".

Estados de UTAs/ha de cada escenario						Probabilidades
Fuente de datos	"Escenarios de mercado y políticas agrícola"					
	Escenario A "Actual"	Escenario B "Vino de alta calidad"	Escenario C "Biocombustibles"	Escenario D "Mayor rentabilidad"	Escenario E "Sin cereales"	
PEAG (CHG, 2008)	0,187	0,224	0,170	0,206	0,296	10%
CONSEJ. AGRICULTURA	0,060	0,070	0,059	0,070	0,088	10%
De Juan *et al.*, 2003	0,106	0,131	0,103	0,127	0,173	80%

24. UTAs del regadío

Representa el número de empleos agrarios generados en los cultivos de regadío del acuífero de la Mancha Occidental. Es el resultado de multiplicar las "UTAs/ha de cada escenario" (variable nº 23) por la "Superficie regable" (variable nº 14). En la tabla 5.49 se muestran los estados de esta variable. Sus probabilidades dependen de las variables "padre" (variables nº 14 y 23).

Tabla 5.49. Estados de la variable "UTAs del regadío".

Estados de Nº de agricultores de regadío (UTAs)	
1	0-5.000
2	5.000-10. 000
3	10.000-15. 000
4	15.000-20. 000
5	20.000-30. 000
6	30.000-40. 000
7	40.000-45. 000
8	45.000-90. 000

5.2.3 Grupo 3. Variables socioeconómicas de cultivos de secano

Una parte de las tierras que dejan de estar en regadío formarán parte del Plan de Forestación, pero otras no; lo más normal será que éstas últimas sigan cultivándose en secano. Estas nuevas tierras de secano serán el resultado de las siguientes políticas:

- "Compra de derechos de agua": las tierras que queden sin derechos probablemente pasen a ser secano.

- "Capacidad para cerrar pozos ilegales": los cultivos de los terrenos que no tienen derechos de riego y que sean controlados por la CHG, sólo podrán cultivar en secano.

- "Cumplimiento del RAE": cuando los agricultores cumplen las restricciones de riego impuestas por el RAE, como se ha explicado anteriormente, lo que suelen hacer es dejar una superficie en secano, y con el agua ahorrada, regar la superficie mantenida en regadío, porque los cultivos en regadío precisan más agua que la contemplada en el RAE.

El conjunto de estos nuevos cultivos de secano también tendrán una producción económica y requerirán empleos, que habría que añadir a la producción agrícola final y al número de agricultores final, para comparar las situaciones anteriores y posteriores a la aplicación de las medidas evaluadas. Para calcular la producción y los empleos del secano no se han contemplado los efectos del cambio climático o de los escenarios agrarios por una razón de optimización: ambas cifras (producción económica y empleos) son muy reducidas comparadas con las del regadío, y por lo tanto los cambios que podrían sufrir no serían perceptibles en las cifras finales. Además, para hacerlo habría que añadir nuevas variables a la red bayesiana, haciéndola más compleja, lo que, entre otras cosas, ralentizaría los cálculos.

Para calcular los empleos y la producción de la nueva superficie de secano se ha incluido en la red bayesiana un conjunto de variables que se explican a continuación.

25. Nueva superficie en secano

Es la nueva superficie de secano proveniente de las medidas "Compra de derechos de agua", "Capacidad para cerrar pozos ilegales" y "Cumplimiento del RAE".

Para ello, se calcula la "Superficie regada actualmente", sumando la "Superficie actual con derechos de riego" (variable nº 4) y la "Superficie actual sin derechos" (variable nº 10). También se calcula la superficie final que no es secano, sumando la superficie final en regadío ("Superficie regable", variable nº 14) y la superficie incluida en el "Plan de forestación" (variable nº 1). Restando ambas superficies se obtiene la superficie que probablemente pasará a ser cultivada en secano (Tabla 5.50). Sus probabilidades, lógicamente provienen de la combinación de las variables que se acaban de nombrar.

Tabla 5.50. Estados de "Nueva superficie en secano".

Estados de Nueva superficie en secano	
Nº	(ha)
1	0-5.000
2	5.000-25.000
3	25.000-50.000
4	50.000-100.000
5	100.000-150.000
6	150.000-200.000
7	200.000-305.000

26. UTAs/ha en secano

Son las UTAs de una hectárea media de secano. Se han aproximado usando un factor de conversión incluido en el PEAG (CHG, 2008): a partir de los informes técnico-económicos de explotaciones agrícolas del MAPA, en el PEAG se ha calculado que el secano requiere aproximadamente el 10% del empleo requerido en el regadío[6]. A partir de los datos de empleo de regadío utilizados en este trabajo y utilizando dicho porcentaje, se han calculado las UTAs/ ha en secano (Tabla 5.51). Los estados y sus probabilidades se resumen en la Tabla 5.52. Se ha dado más probabilidad al valor medio.

Tabla 5.51. Cálculos realizados para obtener los datos de la variable "UTAs/ha en secano".

UTA/ha			
Fuente de los datos	PEAG	Consejería de agricultura	De Juan, Ortega y Tarjuelo, 2003
Regadío	0,187	0,060	0,106
Factor de conversión	X 0.1		
Secano	**0,019**	**0,006**	**0,011**

Fuente de los datos:
-PEAG. B. Memoria técnica (Anexo 7). 9.1. Definición de escenarios de uso del agua en la agricultura del Acuífero 23. Pág. 10. Consultado el 22/10/2007. (Elaborado a partir de los "Resultados técnico-económicos de explotaciones agrícolas de Castilla-La Mancha" (MAPA)).
-Comunicación personal de un representante de la Consejería de Agricultura de Castilla la Mancha.
-De Juan Valero, J.A., J.F. Ortega Álvarez, J.M. Tarjuelo Martín-Benito. 2003. Sistemas de cultivo. Evaluación de itinerarios técnicos. Mundi-Prensa.

[6] CHG, 2008. PEAG. Memoria técnica (Anexo 7). 9.4. Efectos socioeconómicos del PEAG. Pág. 8. Consultado el 23/02/2009.

Tabla 5.52. Estados y probabilidades de la variable "UTAs/ha en secano".

Nº	Fuente de los datos	Estados	Probabilidades
1	PEAG	0,019	20%
2	Consejería de agricultura	0,006	20%
3	De Juan, Ortega y Tarjuelo, 2003	0,011	60%

27. UTAs del secano

Representa el trabajo agrícola (Nº de empleos agrarios o UTAs[7]) generado en los nuevos cultivos de secano del acuífero de la Mancha Occidental. Es el resultado de multiplicar las UTAs de una hectárea media de secano ("UTA/ha en secano", variable nº 26), por la "Nueva superficie de secano" (variable nº 25). Los diferentes resultados se han resumido en tres intervalos, que son los estados de esta variable (Tabla 5.53). Sus probabilidades dependen de sus variables "padre".

Tabla 5.53. Estados de la variable "UTAs del secano".

Estados de UTAs del secano	
1	0-2.500
2	2.500-5.000
3	5.000-7.500

28. Producción económica del secano

Es el Valor monetario de la producción bruta[8] de los nuevos cultivos de secano. Es el resultado de multiplicar la productividad media de los cultivos de secano por la "Nueva Superficie de secano" (variables nº 25). Se ha calculado multiplicando por un valor medio de la productividad media del secano.

A su vez, la productividad media del secano se ha calculado de dos formas distintas:

a) A partir de los datos de productividad y superficie de secano incluidos en el documento de la CHG (2006a, páginas 13 y 20) y el resultado es una productividad media de una hectárea de secano de 671 €/ha (Tabla 5.54). Los datos son de la parte de la Cuenca del Guadiana que se encuentra en Castilla la Mancha.

Tabla 5.54. Datos para calcular la productividad de los cultivos de secano, mediante el método a).
Fuente: Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG). 2006a. Caracterización socio-económica del Uso agrícola y ganadero. Pág. 13 y 20.

	Productividad de cada cultivo	Superficie en la comarca agrícola Mancha-Ciudad Real	Producto bruto total	Productividad media ponderada
Cerales grano	415 €/ha	51.975 ha	21.569.625 €	
Otros cultivos herbáceos	317 €/ha	18.495 ha	5.869.080 €	
Olivar	585 €/ha	23.318 ha	13.641.030 €	
Viñedo	960 €/ha	75.563 ha	72.540.480 €	
TOTAL	-	169.351 ha	113.620.215 €	**671 €/ha**

[7] Para la definición de UTA ver explicación de la variable nº 23.
[8] Para la definición de Producción Bruta, consultar variable nº 22.

b) Calculando la relación entre la productividad de los cultivos de secano y regadío a partir de datos de productividad de una hectárea tipo de secano y de regadío (Tabla 5.55).

Tabla 5.55. Cálculos de la productividad media del secano, mediante el método b).
Fuente: CHG, 2008: Anejo IV. Efectos socioeconómicos del PEAG. Pág. 5 y6.
CHG, 2006a. Caracterización socio-económica del Uso agrícola y ganadero. Pág. 15.

Ingreso bruto de la hectárea tipo en regadío	Ingreso bruto de la hectárea tipo en secano	Relación	Fuente
834 - 1013 €/ha	229 - 284 €/ha	0,27%-0,28%	CHG, 2008
2384 €/ha	464 €/ha	0,20%	CHG, 2006a
Utilizando dichas relaciones y a partir de la productividad media de una hectárea de regadío calculada en este trabajo, que es de 2.612 €/ha, se ha estimado la productividad de una hectárea de secano:			
Productividad media de una ha de secano	= 2.612 €/ha x 0,275% = 718 €/ha.		
Productividad media de una ha de secano	= 2.612 €/ha x 0,20% = 522 €/ha.		

Ya que la productividad calculada por el primer método es aproximadamente la media de las dos anteriores, se ha considerado finalmente sólo esta cifra: 671 €/ha como productividad media de una hectárea de secano. Los diferentes valores se han agrupo en 5 intervalos (Tabla 5.56).

Tabla 5.56. Estados de "Producción económica del secano".

Estados de Producción económica del secano (Millones de euros)	
1	0-10
2	10-50
3	50-100
4	100-150
5	150-205

29. Ingresos por forestación

A la producción agraria hay que añadir los ingresos que reciban los agricultores por el "Plan de Forestación" (Variable nº 1). Dichos ingresos hay que dividirlos entre los 20 años para los que se van a pagar compensaciones por reforestación. Depende directamente de la variable nº 1, porque dependiendo de la superficie afectada por el Plan de forestación, la cantidad de dinero que llegue a los agricultores será diferente. Se resta un 10% del presupuesto por posibles pérdidas por trámites o de otro tipo.

Se han unificado los presupuestos dirigidos a la adquisición de terrenos o derechos, a las actuaciones de forestación propiamente dichas y al mantenimiento de la plantación durante cinco años, ya que todas las actuaciones serán ingresos para la sociedad de la zona: propietarios de los terrenos o derechos, trabajadores de la forestación y proveedores de materiales (Tabla 5.57). Las probabilidades son las mismas que para "Plan de forestación".

Tabla 5.57. Estados de la variable "Ingresos por forestación".
Se muestra los cálculos realizados, para, partiendo de los estados de "Plan de forestación", llegar al ingreso anual que llegará a la zona hasta 2027.

"Plan de forestación" (ha)		Presupuesto gastado (Mill €)	€/ha	Ingresado por los agricultores (Mill €)	**Estados de Ingresos (anuales) por forestación (Mill €/año)**
Máximo	75.000-85.000	1.185	14.813	1.067	**53**
Alto	45.000-75.000	1.185	17.687	1.067	**53**
Medio	35.000-45.000	1.061	17.687	955	**48**
Bajo	25.000-35.000	707	17.687	637	**32**
Muy bajo	15.000-25.000	531	17.687	478	**24**
Mínimo	1-15.000	265	17.687	239	**12**
Actual (2005)	0-1	-	-	0	**0**

30. Ingresos por compra de derechos

A la producción agraria también hay que añadir los ingresos que reciban los agricultores por la "Compra de derechos de agua" (Variable nº 2). Depende directamente de la variable nº 2, porque dependiendo de la superficie vendida (o comprada), la cantidad de dinero que llegue a los agricultores será diferente. Como la compra de los derechos de riego es para siempre, se divide el ingreso entre los 20 años que dura el PEAG para saber el ingreso anual que supone. Además, se resta un 10% del presupuesto por posibles pérdidas por trámites o de otro tipo. En la tabla 5.58 se muestran los cálculos realizados para saber cuáles sería el ingreso económico anual a la sociedad del acuífero de la Mancha Occidental, hasta 2027, dividiendo los ingresos por la "Compra de derechos de agua" (de uso de agua) entre los 20 años que están planificados en el PEAG. Sus probabilidades son las mismas que para "Compra de derechos de agua" (Variable nº 2).

Tabla 5.58. Estados de "Ingresos por compra de derechos".

Compra de derechos de agua (ha)		Presupuesto gastado (Mill €)	€/ha	Ingresado por los agricultores (Mill €)	**Estados de Ingreso (anual) por compra de derechos (Mill €/año)**
Máximo	50.000-60.000	800	10.000	720	**36**
Alto	40.000-50.000	800	15.000	720	**36**
Medio	30.000-40.000	600	10.000	540	**27**
Bajo	20.000-30.000	600	15.000	540	**27**
Muy bajo	1-20.000	400	10.000	360	**18**
Actual (2005)	0-1	0	-	0	**0**

31. Otros Ingresos (Millones de euros)

Los estados de "Otros ingresos" son la suma de los "Ingresos por reforestación" y "Ingresos por venta de derechos" (variables nº 29 y 30, respectivamente). Se han construido unos intervalos que recogen los posibles valores que puede tomar esta variable (Tabla 5.59).

Tabla 5.59. Estados de la variable "Otros Ingresos".

Estados de Otros ingresos	
1	0-30 (Mill €/año)
2	30-60 (Mill €/año)
3	60-90 (Mill €/año)

5.2.4 Grupo 4. Variables de tecnología y necesidades de riego

Este grupo de variables se ha incluido para calcular, a partir de la "Superficie regable" (variable nº 14), cuánto volumen de agua sería extraído del acuífero con fines agrícolas. Por ello, se tienen en cuenta las necesidades de riego de los cultivos, los escenarios agrícolas, las precipitaciones, y la eficiencia del riego, como se explica a continuación.

32. Lluvia de primavera

Se ha introducido esta variable para poder evaluar las posibles consecuencias de una serie de años lluviosos, medios y secos, sobre las necesidades de riego de los cultivos, que dependen principalmente de las lluvias durante los meses de marzo, abril y mayo. Por tanto, son las precipitaciones medias mensuales de dichos meses correspondientes a series de años lluviosos, medios y secos.

Se ha diferenciado esta variable de la variable "Lluvia anual" (variable nº 43) porque no tienen una coincidencia estadística: por ejemplo, años anualmente lluviosos muchas veces no han sido lluviosos durante la primavera. Por eso se ha considerado apropiado introducir dos variables para cada precipitación.

En la Tabla 5.60 se puede ver la precipitación correspondiente a cada estado, según la serie de datos climáticos. En la Tabla 5.61, se puede ver los estados y las probabilidades de cada tipo de año, también obtenidas de la serie de datos climáticos consultada.

Tabla 5.60a. Precipitación de primavera (marzo, abril y mayo, mm), medida en Ciudad Real, Escuela de Magisterio (años 1980-2006).
Fuente: INE, 2008.

Precipitación de primavera (mm)		
Tipo de año	Media	Intervalos
Años húmedos	196	>140
Años medios	120	140-75
Años secos	61	<75

Tabla 5.60b. Estados y probabilidades de la variable "Lluvia de primavera".
Las probabilidades de cada tipo de año se han obtenido de la serie de datos consultada para elaborar la Tabla 5.60.

Estados y probabilidades para Lluvia de primavera		
Estado	nº de años	Probabilidad
Primavera lluviosa	9	32%
Primavera media	11	39%
Primavera seca	8	29%
total	25	100%

33. Necesidades de riego teóricas de cada cultivo (m^3/ha)

Es el agua que necesitan los cultivos para desarrollarse. Los datos utilizados son las necesidades hídricas teóricas, que se definen como "para un determinado régimen climático, es el agua total que evapotranspira un cultivo desde su plantación hasta su cosecha, cuando el suelo tiene la humedad adecuada, a través de la lluvia o el riego, para no limitar el crecimiento de la planta ni la cosecha" (Allen *et al.*, 1998).

Se han calculado unas necesidades altas, medias y bajas (Tabla 5.61).

Tabla 5.61. Necesidades de riego de los cultivos principales del acuífero de la Mancha Occidental.
También se incluyen los datos de la precipitación anual y de los meses de primavera, y la evapotranspiración, para mostrar la dependencia que las necesidades de riego tienen de la meteorología.
Fuente: SIAR, (2008). http://crea.uclm.es/siar/. Datos de necesidades teóricas de riego calculadas para los años 2001-2007.

Necesidades de riego de cada cultivo	(m^3/ha)		
	Altas	Medias	Bajas
Vid	1624	1575	1367
Pimiento	7098	6576	5455
Melón	4842	5069	4749
Cebada	3551	2539	2359
Trigo	4383	3127	3003
Remolacha	9414	9084	8495
Ajo	3589	2536	3772
Maíz	7582	7528	7035
Cebolla		6857	6597
Precipitación anual (Argamasilla del Alba)	143	345	393
P primavera (marzo, abril y mayo) (Argamasilla del Alba)	28	102	191
Eto Acumulada	1413	1371	1236

A partir de los datos de cada cultivo, se ha hecho la media ponderada de las necesidades de riego de cada "tipo de cultivo" (Tabla 5.62). La media se ha ponderado según la proporción de superficie que ocupaban en el acuífero en 2005, según los datos del estudio de imágenes de satélite (CHG, 2008).

Tabla 5.62. Necesidades de riego de cada "tipo de cultivo" (m^3/ha).
Elaboración propia a partir de los datos de la Tabla 5.61.

	Necesidades Altas	Necesidades Medias	Necesidades Bajas
Cereales	4229	3018	2884
Hortícolas	5014	5027	4837
Leñosos VID	1624	1575	1367
Barbechos	0	0	0
Otros	8190	7859	7233

Al utilizar los datos del SIAR (2008), a lo largo de diferentes años (2001-2007), se ha podido obtener la relación de las necesidades hídricas con la Lluvia de primavera (variable nº 32), ver Tabla 5.63. A partir de estas relaciones estadísticas se han introducido las probabilidades sin tener en cuenta el cambio climático. Para esto, se ha hecho el análisis que se presenta a continuación.

Tabla 5.63. Estados y probabilidades de la variable "Necesidades de riego de cada cultivo" en ausencia de cambio climático.

Necesidades de riego de cada cultivo (m^3/ha)			
Estados	Lluvia de primavera		
	Año Seco	Año Medio	Año Húmedo
Necesidades Altas	66,6%	37,5%	12,5%
Necesidades Medias	33,4%	37,5%	25%
Necesidades Bajas	0%	25%	62,5%

Consecuencias del cambio climático en las necesidades de riego de los cultivos

La otra variable que influye sobre las necesidades de riego de los cultivos es el cambio climático. Los aumentos de temperatura pueden aumentar la demanda evapotranspirativa de los cultivos, incrementándose las necesidades de riego en algunos casos. Las tendencias apuntan a que en el sur y sureste de España la demanda de agua se incrementará, siendo el estrés térmico más frecuente (MIMAM 2006, pág. 29).

Esto depende de muchos factores:

a) de la temperatura, que afecta a la evapotranspiración. Además, un aumento de la temperatura puede hacer acortar los tiempos de cultivo, lo que puede hacer disminuir las necesidades de agua, y también puede hacer necesario alterar las fechas de siembra, lo que a su vez afecta a las necesidades de agua;

b) de la concentración de CO_2, que aumenta la capacidad de la fotosíntesis y la eficiencia en el uso del agua;

c) de la lluvia, que afecta tanto a la evapotranspiración como al agua que es necesario aportar mediante el riego;

d) de la distribución de las lluvias, algo quizá más importante que la lluvia anual, ya que influye en el inicio del crecimiento de las plantas y en sus necesidades durante el crecimiento.

Entre los estudios realizados para estimar las posibles necesidades hídricas de los cultivos de regadío, los más específicos que se han encontrado son los de Döll (2002) y Rodríguez Díaz *et al*. (2007). Los resultados de ambos trabajos concluyen que bajo diferentes escenarios de cambio climático, las necesidades de riego van a aumentar en los cultivos de regadío en España y en la cuenca del río Guadalquivir, respectivamente (Tabla 5.64).

Tabla 5.64. Resultados de Döll (2002) y Rodríguez Díaz *et al.* (2007), de interés para el presente trabajo.

Impacto del cambio climático en las necesidades de riego							
	Escenarios de cambio climático y modelos de circulación general		Año de referencia	Año futuro	Cambio en las necesidades de riego	Cambio anual	Cambio hasta 2015
Döll 2002	Modelo HadDM3 (Gordon *et al.,* 1999)		1960-1989	2020-2029	+5-15%	+0.17% / +0.5%	+1,33% / +4%
	Modelo ECHAM4 (Röckner *et al*., 1996)		1950-1979	2020-2029	+15-30%	+0.37% / +0.75%	+3% / +6%
Rodríguez Díaz *et al*., 2007	Modelo HadDM 3 (Gordon *et al*., 2000)	Escenario B2 del IPCC (IPCC-TGCIA 1999)	1961-1990	2050	+15%	+0.25%	+2%
		Escenario A2 del IPCC	1961-1990	2050	+20%	+0.33%	+2.67

Para evaluar estos impactos en la red bayesiana, se han tenido en cuenta unos valores representativos que recojan el mayor rango posible de los resultados de estos estudios (Tabla 5.65):

- Impacto de un cambio climático moderado (B2): +3% de las necesidades de riego de los cultivos.

- Impacto de un cambio climático severo (A2): +6% de las necesidades de riego de los cultivos.

Tabla 5.65. Valores representativos que recogen el mayor rango posible de los resultados de Döll (2002) y Rodríguez Díaz *et al.* (2007).

Cambio climático	**Cambio en las necesidades de riego de los cultivos**	
	Anual	**Hasta 2015**
Moderado (B2)	+0,37%	+3%
Severo (A2)	+0,75%	+6%

Por tanto, las probabilidades finales para las "Necesidades de riego de cada cultivo" son las incluidas en la Tabla 5.66.

Tabla 5.66. Estados y probabilidades de las "Necesidades de riego de cada cultivo". Cambio climático se ha escrito como "C.C.".

Estados de Necesidades de riego de cada cultivo (m^3/ha)	Probabilidades en 2015 de Necesidades de riego de cada cultivo (m^3/ha)								
	C.C. sin consecuencias			C.C. Moderado			C.C. Severo		
	Año Seco	Medio	Húmedo	Año Seco	Medio	Húmedo	Año Seco	Medio	Húmedo
Altas	66,6%	37,5%	12,5%	69,6%	40,5%	15,5%	72,6%	43,5%	18,5%
Medias	33,4%	37,5%	25%	30,4%	37,5%	25%	27,4%	37,5%	25%
Bajas	0%	25%	62,5%	0%	22%	59,5%	0%	19%	56,5%

34. Necesidades de riego teóricas por escenario (m^3/ha)

A cada escenario agrícola le corresponde unas necesidades teóricas de riego. Es el resultado de multiplicar la proporción que hay de cada cultivo en cada uno de los cinco "Escenarios agrícolas" (variable nº 15), por las "Necesidades de riego de cada cultivo" (variable nº 33).

Para verificar estos resultados se ha comparado con las necesidades hídricas de cultivo incluídas en el estudio de la CHG "Caracterización socio-económica del uso agrícola y ganadero" (CHG, 2006a: pp: 69 y 73). Para la comarca agrícola Mancha de Ciudad Real, que es la comarca agrícola que más superficie tiene dentro del área del acuífero de la Mancha Occidental (Figura 2.3), las necesidades hídricas medias para el año 2001 son 2.600 m^3/ha (357.707.899 m^3/año dividido entre las 137.615 ha de regadíos); muy cercanos a los 2.634 m^3/ha que se obtienen con el escenario A, es decir, Actual, y para un año medio, (Tabla 5.67).

Tabla 5.67. Necesidades de riego por escenario (m^3/ha).

Tipo de año	Escenario A "Actual"	Escenario B "Vino de alta calidad"	Escenario C "Biocombustibles"	Escenario D "Mayor rentabilidad"	Escenario E "Sin cereales"
PEAG	3.352	3.500	3.386	3.534	3.723
Seco	3.000	2.962	3.274	3.235	2.715
Medio	2.634	2.699	2.860	2.926	2.657
Húmedo	2.429	2.491	2.658	2.720	2.443

Dichos valores se han introducido como intervalos en la red bayesiana (Tabla 5.68), para facilitar los cálculos y evitar introducir tantos valores diferentes.

Tabla 5.68. Estados de la variable "Necesidades de riego teóricas por escenario".

Estados de Necesidades de riego teóricas por escenario (m^3/ha)	
1	3.550-3.450
2	3.450-3.100
3	3.100-2.800
4	2.800-2.675
5	2.675-2.550
6	2.550-2.400

35. Necesidades regionales de riego teóricas (hm^3)

Es el agua que necesitan los cultivos de regadío plantados en el acuífero de la Mancha Occidental para desarrollarse. Es el resultado de multiplicar la "Superficie regable" (variable nº 14) por las "Necesidades de riego teóricas por escenario" (variable nº 34) (Tabla 5.69).

Tabla 5.69. Estados de la variable "Necesidades regionales de riego teóricas".

Estados de Necesidades regionales de riego teórico (hm^3)	
1	>600
2	500-600
3	400-500
4	300-400
5	250-300
6	200-250
7	150-200
8	0-150

36. Modernización de regadíos

Medida incluida en el PEAG y entre las políticas de la Consejería de Agricultura de Castilla la Mancha. Puede conseguir que se mejore las tecnologías de riego o mantener las actuales. Un éxito de esta política conseguirá aumentar la eficiencia de riego, que es la proporción (%) de agua que no se pierde en el proceso de riego.

Aunque siempre existe la posibilidad de que la eficiencia de riego disminuya, las partes interesadas han coincidido en que lo más probable es que se produzca un aumento de ésta en el futuro próximo, por lo que las probabilidades del estado "Los regadíos se modernizan" son las más altas (Tabla 5.70).

Tabla 5.70. Estados y probabilidades de la variable "Modernización de regadíos".
Fuente: PEAG. B. Memoria técnica (Anexo 7). 8.1. Definición de escenarios de uso del agua en la agricultura del Acuífero 23. Pág. 9. Consultado el 22/10/2007. (A partir de datos del Censo Agrario de 1999: Albacete: 73,3%; Ciudad Real: 78,4%; Cuenca: 74,9%).

Estados de Modernización de regadíos			
		Eficiencia del riego (%)	Probabilidades en 2015
1	Los regadíos se modernizan	88%	60%
2	Los regadíos se mantienen correctamente	78%	30%
3	Los regadíos se deterioran	68%	10%

37. Extracciones agrícolas (hm^3)

Es el total del agua que se extrae del acuífero de la Mancha Occidental para uso agrícola. Son las "Necesidades regionales de riego teóricas" (variable nº 35) más la parte que hay que sumar por la pérdida que se produce al regar ("Modernización de regadíos"). Se calcula mediante la Expresión 5.1.

Expresión 5.1:

Extracc. agrícolas = Necesidades regionales de riego teóricas x [1+(1- Eficiencia del riego)]

Por ejemplo, para una eficiencia del 88%, las "Necesidades regionales de riego teóricas" se multiplican por: 1+(1-0,88%)= 1,12.

Sus estados se han agrupado en los intervalos de la Tabla 5.71.

Tabla 5.71. Estados y probabilidades de la variable.

Estados de Extracciones agrícolas (hm^3)	
1	0-150
2	150-200
3	200-250
4	250-300
5	300-400
6	400-500
7	500-600
8	600-700
9	700-800
10	800-900
11	900-2000

5.2.5. Grupo 5. Variables necesarias para el balance hidrológico

Finalmente, conociendo las extracciones agrícolas, se requiere hacer el balance hídrico para saber si el acuífero se recarga o se vacía. Para ello se ha introducido un conjunto de variables que se explican a continuación.

38. Trasvase Tajo-Guadiana (hm^3)

Es la cantidad de agua que puede llegar en el futuro al acuífero de la Mancha Occidental para cubrir las necesidades de abastecimiento urbano. Las probabilidades de esta variable provienen de la opinión de las partes interesadas, quienes ven muy probable que en 2015 esté en funcionamiento el Trasvase Tajo-Guadiana para abastecimiento urbano (Tabla 5.72).

Tabla 5.72. Estados y probabilidades de la variable "Trasvase Tajo-Guadiana".

Estados de Trasvase Tajo-Guadiana (hm^3)			Probabilidades en 2015
1	No hay trasvase	0-1	20%
2	Trasvase a media capacidad	1-15	10%
3	Trasvase a capacidad completa	15-30	70%

39. Uso Urbano (hm^3)

Representa el agua utilizada para abastecimiento en los núcleos de población del acuífero de la Mancha Occidental (Tabla 5.73).

Tabla 5.73. Estados y probabilidades de la variable "Uso Urbano".
Fuente: PEAG. B. Memoria técnica (Anexo 7). 2.2. Análisis situación actual hidrogeológica. Pág. 13. Consultado el 11/04/2008.

Estados de Uso Urbano (hm^3)			Probabilidades en 2015
1	½ Actual (PEAG)	6-16	10%
2	Actual (PEAG)	16-32	80%
3	Mayor al Actual (PEAG x 1,5-2)	32-48	10%

40. Nuevos usos del agua (hm^3)

Actualmente están surgiendo nuevos usos del agua que antes no existían y que pueden tener demandas considerables, como nuevos complejos de ocio, instalaciones turísticas, campos de golf, hoteles, casinos, etc. En la actualidad se consideran 0, y en 2015 se ha estimado que no llegarán a crecer tanto como para aumentar más de la mitad del agua que se consume actualmente en abastecimiento (Tabla 5.74).

Tabla 5.74. Estados y probabilidades de la variable "Nuevos usos del agua".

Estados de Nuevos usos del agua (hm^3)			Probabilidades en 2015
1	Actual	0-1	50%
2	Aumento (la mitad del actual uso urbano actual)	1-12	50%

41. Uso industrial (hm^3)

Es el agua utilizada en instalaciones industriales. En los próximos años es previsible que aumente debido a nuevas instalaciones de energía solar y a otras nuevas industrias (Tabla 5.75).

La instalación de plantas de generación de energía con tecnología termo-solar puede ser un tema importante que haya que tener en cuenta. Una planta termo-solar produce aproximadamente 50 MW de energía y consume 1 hm^3/año. Parece poco probable que se construyan más de 20 plantas, que sumarían 1.000 MW y que podrían llegar a consumir 20 hm^3/año. Esto podría llegar a suponer un 5% del agua que se extrae actualmente en el acuífero, por lo que la importancia hidrológica de esta industria no llegará a ser excesivamente importante. Además es difícil que se alcancen dichas cifras antes del año 2015, tal y como se encuentra actualmente dicho sector.

Tabla 5.75. Estados y probabilidades de la variable "Uso industrial".
Fuente: PEAG. B. Memoria técnica (Anexo 7). 2.2. Análisis situación actual hidrogeológica. Pág. 13. Consultado el 11/4/2008.

Estados de Uso industrial (hm^3)			Probabilidades en 2015
1	Menor	0-2	33%
2	Actual	2-4	33%
3	Mayor	4-6	33%

42. Extracciones no agrícolas (hm^3)

Es la suma de los tres usos de agua anteriores: "Uso Urbano", "Nuevos usos del agua" y "Uso industrial": variables nº 39, 40 y 41 (Tabla 5.76).

Tabla 5.76. Estados de la variable "Extracciones no agrícolas".

Estados de Extracciones no agrícolas (hm^3)	
1	0-1
2	1-12
3	12-25
4	25-42
5	42-66

43. Lluvia anual (mm)

Se ha introducido esta variable para poder evaluar las posibles consecuencias de una serie de años lluviosos, medios y secos sobre la recarga del acuífero. Por tanto, son las precipitaciones medias anuales correspondientes a series de años lluviosos, medios y secos (Tabla 5.77).

Tabla 5.77. Estados de la variable "Lluvia anual".
Fuente: Precipitación total anual (mm), medida en Ciudad Real, Escuela de Magisterio (años 1980-2006). INE, 2008.

Estados	Precipitación total anual (mm)	Intervalos
Años lluviosos	494	>400
Años medios	359	325-400
Años secos	274	<325

Según dicha serie de datos, las probabilidades de cada tipo de año son las incluidas en la Tabla 5.78.

Tabla 5.78. Probabilidades de la variable "Lluvia anual".

Estados y probabilidades para Lluvia anual		
Estado	nº de años	Probabilidad
Año lluvioso	9	33%
Año medio	10	37%
Año seco	8	30%
Total años	27	100%

44. Recursos renovables (hm^3)

Son los valores que resultan de restar a la recarga natural del acuífero, las salidas naturales, calculado con arreglo a la interpretación de Martínez Cortina (2001) y Llamas *et al*. (2001).

Por recarga natural se entiende: la parte del agua infiltrada que alcanza la zona saturada. Agua infiltrada es la cantidad de agua precipitada que atraviesa la superficie del terreno y pasa a ocupar, total o parcialmente, los poros, fisuras y oquedades del suelo. La zona saturada de un acuífero es la franja de terreno situada por debajo de cierta profundidad donde el agua ocupa la totalidad de los huecos. (López, Fornés, Ramos y Villarroya, 2001).

Por aportes hídricos naturales se entiende el agua que entra a una región a través de la precipitación, a través del agua superfcicial o a través del agua subterránea.

Para obtener los valores que puede tomar esta variable se han tenido en cuenta dos fuentes de datos: el PEAG (CHG, 2008) y la Tesis Doctoral de Pedro Martínez Santos (Martínez Santos, 2007) (Tabla 5. 79).

Tabla 5.79. Balances hídricos sin tener en cuenta las salidas de agua del acuífero de origen antrópico.
Fuente: PEAG. B. Memoria técnica (Anexo 7). 2.2. Análisis situación actual hidrogeológica. Pág. 13. Consultado el 11/4/2008.
Martínez Santos, 2007: Tesis PMS-1: Pág. 193; Tesis PMS-2: Pág. 122; Tesis PMS-3: Pág. 117.

	PEAG Actual 2006 (precip. Med.)	TESIS PMS-1 2002-2003	TESIS PMS-2 Media (1974-2003)	TESIS PMS-3 Máx-Min
ENTRADAS (hm^3/año)				
INFILTRACIÓN POR LLUVIAS	235	150	-	200-400
APORTACIÓN DE CAUCES SUPERFICIALES AL ACUÍFERO	73	50	-	-
INFILTRACIÓN RESIDUALES (80%) ABASTECIMIENTO	24	-	-	-
INFILTRACIÓN RETORNO DE RIEGO SUP+SUB	14	-	-	-
APORTES ACUÍFEROS LATERALES	45	60	-	40-60
TOTAL ENTRADAS	**391**	**260**	**350**	**240-460**
SALIDAS NATURALES (hm^3/año)				
Evapotranspiración	0	10	-	0-10
Ríos y humedales	0	25	-	25
Mancha Oriental	10	10	-	10
TOTAL	**10**	**45**	**45**	**35-45**
Recursos renovables (*)	**381**	**215**	**305**	**195-425**

(*) Se calcula con arreglo a la interpretación de Martínez Cortina (2001) y Llamas *et al.* (2001).

A partir de estos datos se han obtenido los estados para recursos renovables, y sus probabilidades dependiendo de la precipitación anual, aunque sin tener en cuenta el cambio climático (Tabla 5.80).

Tabla 5.80. Estados y probabilidades de "Recursos renovables".

Estados de recursos renovables (hm^3)	**Probabilidades**		
	Lluvia anual		
	Años lluviosos	Años medios	Años secos
425-680	50%	20%	0%
305-425	17%	40%	0%
195-305	17%	20%	0%
80-195	17%	20%	100%
TOTAL	100%	100%	100%

Consecuencias del Cambio Climático en los recursos renovables

El descenso de lluvias y el aumento de la temperatura producen consecuencias en la recarga del acuífero, y por tanto en sus recursos renovables.

La mayoría de los estudios de impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos se han basado en modelos globales. Dichos estudios concluyen que la descarga media en los países del sur de Europa podría descender entre un 0-23% en 2020-2029 y entre un 6-36% en 2070-2079 (IPCC, 2008). Los descensos más acusados se podrían dar en cuencas del sur de Europa, como la del Guadiana, y podrían llegar a descensos del 80% (Santos *et al.*, 2002).

El Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM, 2000), considera diferentes perspectivas para los recursos hídricos en el año 2030, según los escenarios. En un escenario de aumento de la temperatura de 1 ºC, las aportaciones hídricas medias podrían descender un 5%. En otro escenario de disminución de la precipitación del 5% y aumento de la temperatura de 1 ºC, se considera que disminuirán un 14%. El impacto, según el mismo documento, se manifestará más severamente en el sureste peninsular y la España insular, es decir, en las cuencas del Guadiana, Segura, Júcar, Guadalquivir, Mediterránea Andaluza, Baleares y Canarias. En el año 2060, con un aumento de las temperaturas de 2,6 ºC y un descenso de la precipitación de un 8%, los recursos hídricos podrían disminuir un 17%, pudiendo llegar hasta un 22% a finales de siglo. Los resultados obtenidos en los estudios realizados por el CEDEX (1997) son muy similares a los de MIMAM (2000). Ayala-Carcedo (2000) ha obtenido unos datos comparables para la cuenca alta del Guadiana (Tabla 5.81).

Estas proyecciones de cambio en los aportes hídricos se pueden considerar conservadoras, ya que hay estudios de cambios de temperatura y de precipitaciones mayores que los utilizados en estas proyecciones (por ejemplo los escenarios más extremos de INM (2007), MIMAM (2005) o Starke and Jacob (2007)).

Tabla 5.81. Resultados de MIMAM (2000) y Ayala-Carcedo (2000), sobre las consecuencias del cambio climático en los recursos renovables.

Referencia	Periodo	Escenario de referencia	Aportes hídricos	Cambio anual	Cambio hasta 2015
MIMAM, 2000	2030 (Duplicación CO2)	+1 ºC = precipitación	-5% (-11% en Guadiana)	-0,37%	-3%
		+1 ºC - 5% precipitación	-14% (-24% en Guadiana)	-0,8%	-6,5%
Ayala-Carcedo 2000	2060	+2,5ºC Tª Media -8%precipitación	-17%-23% en Guadiana	-0,28% / -0,38%	-2,25% -3%

Consecuencias del cambio climático en la recarga del acuífero de la Mancha Occidental

Se supone que el cambio climático afectará a la recarga de los acuíferos, pero todavía hay una gran falta de estudios sobre la forma en la que lo hará (Kundzewicz *et al.*, 2007). Dependerá de numerosos factores, como por ejemplo de la conexión entre acuíferos y ríos, de la distribución a lo largo del año de los cambios en el clima, de los cambios que sufra la vegetación, de la intensidad y frecuencia de las sequías (particularmente en las áreas áridas o semi-áridas, donde la recarga se produce principalmente en las inundaciones), etc. Por tanto los efectos deben estudiarse en función de las características de la recarga de cada acuífero, y del cambio climático proyectado sobre cada área (Kundzewicz *et al.*, 2007). En un modelo a escala planetaria con proyecciones para la recarga a largo plazo de los acuíferos en España, se comprobó que las consecuencias del cambio climático pueden variar considerablemente: los resultados tenían más variación dependiendo del modelo climático elegido que de los dos escenarios de emisiones evaluados (Döll and Flörke, 2005).

Ante la forma de materializar los efectos del cambio climático sobre la recarga natural del acuífero de la Mancha Occidental hay con una consideración importante que podía hacer que su efecto fuese insignificante. Los aportes a las masas hídricas se generan

en periodos concretos en función de las temperaturas, las precipitaciones y el estado de saturación del suelo entre otros factores (Custodio y Llamas, 1996; Iglesias *et al.*, 2005). Las precipitaciones constituyen un factor esencial para la disponibilidad de agua en los acuíferos y, desde el punto de vista hidrogeológico, es más importante la frecuencia e intensidad de las lluvias, que la cantidad de agua caída a lo largo de todo un año (Pernía y Fornés, 2008). Esta idea es reforzada por Fernández (2002), quien demuestra que las simulaciones de cambio climático a escala anual no son adecuadas para describir la variación de las aportaciones, al no tener en cuenta la distribución mensual de la temperatura y la precipitación.

En la Cuenca del Guadiana, así como en el resto de España, la recarga de los acuíferos se genera en los meses más fríos (menos temperaturas implican menor evapotranspiración y mayor saturación del suelo) o con mayor precipitación. En verano, con temperaturas y evapotranspiraciones altas, la mayor parte del agua que es capaz de retener el suelo, es utilizada por las plantas, porque el suelo está seco o en bajo estado de saturación, de modo que no hay apenas recarga. En los meses fríos, la evapotranspiración es baja: la demanda de agua de las plantas también, esto se traduce en que las lluvias saturan el suelo y el exceso de agua supone la recarga de los acuíferos.

Aunque las predicciones de distribución mensual de la precipitación y la temperatura hay que tomarlas con cautela (Iglesias *et al.*, 2005), para la Cuenca del Río Guadiana pronostican aumentos de temperaturas y descenso de precipitaciones, principalmente en verano, y descensos de precipitaciones, también importantes, en primavera (INM 2007). En verano la recarga no disminuirá apreciablemente, ya que apenas se producía recarga antes del cambio climático; pero los descensos de precipitaciones en primavera si pueden tener consecuencias más directas en la recarga del acuífero.

Los periodos de sequía o las inundaciones también influyen sobre la recarga de los acuíferos. Las previsiones del IPCC (2008) para el interior de la península ibérica apuntan a que aumentará la variabilidad climática, y especialmente la frecuencia y severidad de las sequías. Dichas sequías, junto a los aumentos de temperatura y reducciones de la precipitación a lo largo del año, distribuidos de una u otra forma, aumentarán la demanda evapotranspirativa del suelo y de la vegetación, por lo que es probable que antes de las lluvias, los suelos se encuentren en una situación más seca. Siguiendo este razonamiento cabe esperar una reducción de la escorrentía y de la recarga del acuífero de la Mancha Occidental, provocada por el cambio climático (Iglesias *et al.*, 2005).

Los estudios de recarga de acuíferos obtienen resultados discrepantes. Algunos indican que dicha recarga variará más que los aportes hídricos; pero otros, en cambio, indican que variará menos (Kundzewicz *et al.*, 2007). Ante la falta de un criterio uniforme que seguir, se ha decidido considerar que la recarga del acuífero variará en la misma magnitud que los aportes hídricos. Por tanto, los escenarios de cambio climático para la recarga del acuífero son los incluidos en la tabla 5.82.

Tabla 5.82. Influencia del cambio climático en los "Recursos renovables" del acuífero de la Mancha Occidental.

Cambio climático	**Cambio en la recarga natural**	
	Anual	**Hasta 2015**
Moderado (B2)	-0,37%	-3%
Severo (A2)	-0,8%	-6,5%

Con estos datos se ha construido la Tabla de Probabilidad Condicional de la variable "Recursos renovables" (Tabla 5.83).

Tabla 5.83. Tabla de Probabilidad Condicional de la variable "Recursos renovables".

Estados de Recursos renovables (hm^3)	Probabilidades en el año 2015 de Recursos renovables (hm^3)								
	Ausencia de C.C.			C.C. Moderado			C.C. Severo		
	Año Seco	Año Medio	Año Húmedo	Año Seco	Año Medio	Año Húmedo	Año Seco	Año Medio	Año Húmedo
80-195	100%	20%	17%	100%	21,5%	18,5%	100%	23,5%	20,5%
195-305	0%	20%	17%	0%	21,5%	18,5%	0%	23%	20%
305-425	0%	40%	17%	0%	38,5%	15,5%	0%	37%	14%
425-680	0%	20%	50%	0%	18,5%	48,5%	0%	16,5%	46,5%

45. Balance hídrico (0) (hm^3)

Es el balance hídrico de entradas y salidas de agua en el acuífero teniendo en cuenta todas las entradas ("Recursos renovables") y salidas ("Extracciones no agrícolas"), sin contar las salidas por uso agrícola. Es decir, es la variable nº 44 menos la variable nº 42). Sus estados están en la Tabla 5.84.

Tabla 5.84. Estados de la variable "Balance hídrico (0)".

Estados de Balance hídrico (0) (hm^3)	
1	10-80
2	80-195
3	195-305
4	305-425
5	425-680

46. Balance hídrico final (hm^3)

Es el balance hídrico de entradas y salidas de agua en el acuífero teniendo en cuenta todas las entradas y salidas, incluso las salidas por uso agrícola. Se calcula restando al balance anterior las "Extracciones agrícolas". Por tanto, es la diferencia entre la recarga del acuífero y el volumen total extraído de los pozos (Tabla 5.85).

Tabla 5.85. Estados de la variable "Balance hídrico final".

Estados de Balance hídrico final (hm^3)	
1	<-265
2	-265- -75
3	-75- -25
4	-25- 25
5	25-75
6	75-115
7	115-160
8	160-250
9	250-680

47. Variación del nivel del acuífero

Diferencia que sufriría el nivel piezométrico dependiendo del balance hídrico anual.

Para calcularlo se tienen en cuenta las características del acuífero de la Mancha Occidental incluidas en la tabla 5.86.

Tabla 5.86. Características hidrogeológicas del acuífero de la Mancha Occidental.

Se asumen condiciones homogéneas e isotrópicas para todo el acuífero	
Nivel piezométrico (2007)	-24 m
Superficie	5.500 km^2
Coeficiente de almacenamiento	0,025
Almacenamiento en 1 m de profundidad	125 hm^3
Déficit total	3000 hm^3

A partir de estas características se puede calcular qué variación se produce en el nivel piezométrico, sabiendo el balance hídrico (Tabla 5.87).

Tabla 5.87. Estados de la variable "Variación del nivel del acuífero".

Estados de Variación del nivel del acuífero		
	Balance hídrico final (hm^3)	Variación del nivel del acuífero correspondiente
1	<-265	-16/-2 m/año
2	-265- -75	-2/-0,6 m/año
3	-75- -25	-0,6/-0,2 m/año
4	-25- 25	-0,2/0,2 m/año
5	25-75	0,2/0,6 m/año
6	75-115	0,6/0,9 m/año
7	115-160	0,9/1,3 m/año
8	160-250	1,3/2 m/año
9	250-680	2/5,4 m/año

Metodología y fuente de los datos necesarios para los cálculos:
Martínez Santos, 2007. Pág. 223 y 224.

5.3. ESTADOS Y PROBABILIDADES DE LAS VARIABLES OBJETIVO O DE SALIDA

48. Producción agraria bruta (Millones de euros)

Es la suma de la producción bruta de los cultivos de regadío en la superficie del acuífero de la Mancha Occidental, más la producción bruta de los nuevos cultivos de secano, más los ingresos que obtengan los agricultores por la venta de derechos de agua y por el plan de reforestación: Variables "Producción económica del regadío" + "Producción agrícola del secano" + "Otros Ingresos" (Variables nº 22+ nº 28 + 31). Sus estados se muestran en la tabla 5.88.

Tabla 5.88. Estados de "Producción agraria bruta".

Estados de Producción agraria bruta	
1	0-90 M €
2	90-250 M €
3	250-400 M €
4	400-550 M €
5	550-700 M €
6	700-850 M €
7	850-990 M €
8	990-2.300 M €

49. Nº de agricultores (UTAs)

Representa el número de agricultores de regadío ("UTAs del regadío") más los agricultores de las nuevas tierras de secano ("UTAs del secano", variables 24 y 27). Sus estados se muestran en la tabla 5.89.

Tabla 5.89. Estados de "Nº de agricultores (UTAs)".
Fuente: Elaboración propia a partir de la Contabilidad Regional y Nacional 2001 del INE y del Censo de población y vivienda 2001 del INE.

Estados de Nº de agricultores (UTAs)	
1	0-5.000
2	5.000-10. 000
3	10.000-15. 000
4	15.000-20. 000
5	20.000-30. 000
6	30.000-40. 000
7	40.000-50. 000
8	45.000-100. 000

Para comparar: 15.591 empleos (puestos de trabajo) de la sub-rama "Agrícola" para la parte de la provincia de Ciudad Real dentro de la Cuenca del Guadiana para el año 2001. DH Guadiana

50. Años hasta la recuperación del acuífero

Tiempo necesario para la recuperación del acuífero, a partir del año 2015, si las condiciones introducidas en la red se mantuvieran sin variaciones los años sucesivos (Tabla 5.90). Tiene gran relación con la probabilidad de que se recupere la conexión humedal- acuífero en la Mancha Occidental. Se estima que el nivel piezométrico está a 24 metros bajo la superficie (IGME).

Tabla 5.90. Estados de la variable "Años hasta la recuperación del acuífero".

Estados de Años hasta la recuperación del acuífero		
	Variación del nivel del acuífero (m/año)	Años hasta la recuperación del acuífero
1	Balance negativo	Nunca
2	-0,2/0,6 m/año	Estable
3	+0,6-0,9 m/año	40 años (2055)
4	+0,9-1,3 m/año	26 años (2042)
5	+1,3-2 m/año	19 años (2034)
6	+2-5,4 m/año	12 años (2027)

Metodología y fuente de los datos necesarios para los cálculos: Martínez Santos, 2007. Pág. 223 y 224.

5.4. RESUMEN DE LAS PROBABILIDADES INTRODUCIDAS EN CADA VARIABLE DE LA RED BAYESIANA DEL ACUÍFERO DE LA MANCHA OCCIDENTAL

A continuación se presentan una seis tablas en las que se indica el origen de los datos que se han utilizado para definir las probabilidades de las variables de la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental (Tablas 5.91-5.96).

Tabla 5.91. Fuente de las probabilidades del Grupo 1. Variables para obtener la superficie agrícola en regadío.

VARIABLES	FUENTE DE LAS PROBABILIDADES
1. Plan de forestación (ha)	Grupos de interés
2. Compra de derechos de agua (ha)	Grupos de interés
3. Superficie con derechos comprados (ha)	Suma de variables anteriores
4. Superficie actual con derecho de riego (ha)	CHG, 2008; Consejería agricultura; imágenes de satélite y Grupos de interés
5. Superficie final con derechos (ha)	Resta de variables anteriores
6. Capacidad de aplicar el RAE (ha)	Grupos de interés
7. Superficie con derechos regable tras aplicar el RAE (ha)	Proviene directamente de la variable anterior
8. Plan de reconversión del viñedo (ha)	Grupos de interés
9. Cambio superficie sin derechos (ha)	Proviene directamente de las variables anteriores
10. Superficie actual sin derechos de riego (ha)	CHG, 2008; Consejería agricultora; imágenes de satélite y Grupos de interés
11. 2ª Superficie sin derechos (ha)	Proviene de las variables anteriores
12. Capacidad para cerrar pozos ilegales (ha)	Grupos de interés
13. Superficie final sin derechos (ha)	Multiplica variables anteriores
14. Superficie regable (ha)	Suma de variables anteriores

Tabla 5.92. Fuente de las probabilidades del Grupo 2. Variables socioeconómicas de cultivos de regadío.

VARIABLES	FUENTE DE LAS PROBABILIDADES
15. Escenarios de mercado y políticas agrarias	Grupos de interés
16. Escenarios: % de cada cultivo	De la variable anterior
17. Cambio climático	IPCC SRES, 2001
18. Rendimiento (ton/ha)	MAPA, 2004; IPCC SRES, 2001
19. Precios de los productos agrícolas (€/ton)	CHG, 2008; Grupos de interés
20. Productividad (€/ha)	Combinación de las variables “Rendimiento” y “Precios de los productos agrícolas”
21. Productividad de cada escenario (€/ha)	Multiplicación de la proporción de cada cultivo en los escenarios, por la “Productividad”
22. Producción económica del regadío (Millones de euros)	Multiplicando la “Productividad de cada escenario” por la variable “Superficie regable”
23. UTAs/ha de cada escenario	Grupos de interés
24. UTAs del regadío	Multiplicar las “UTAs/ha de cada escenario” por la “Superficie regable”

Tabla 5.93. Fuente de las probabilidades del Grupo 3. Variables socioeconómicas de cultivos de secano.

VARIABLES	FUENTE DE LAS PROBABILIDADES
25. Nueva superficie en secano (ha)	Sumando variables anteriores
26. UTAs/ha en secano	Grupos de interés
27. UTAs del secano	Multiplicando "UTA/ha en secano" por la "Nueva superficie de secano"
28. Producción económica del secano (Millones de €)	Multiplicando la productividad media de los cultivos de secano por la "Nueva Superficie de secano"
29. Ingresos por forestación (Millones de €)	Depende directamente de la variable nº 1
30. Ingresos por compra de derechos (Millones de €)	Depende directamente de la variable nº 2,
31. Otros Ingresos (por la venta de derechos y la reforestación) (Millones de €)	Suma de los "Ingresos por reforestación" y "Ingresos por venta de derechos"

Tabla 5.94. Fuente de las probabilidades del Grupo 4. Variables de tecnología y necesidades de riego.

VARIABLES	FUENTE DE LAS PROBABILIDADES
32. Lluvia de primavera	INE (2008)
33. Necesidades de riego de cada cultivo (m^3/ha)	SIAR (2008)
34. Necesidades de riego por escenario (m^3/ha)	Multiplicando la proporción que hay de cada cultivo en cada uno de los cinco "Escenarios agrícolas" por las "Necesidades de riego de cada cultivo"
35. Necesidades regionales de riego teóricas (hm^3)	Multiplicando la "Superficie regable" por las "Necesidades de riego teóricas por escenario"
36. Modernización de regadíos	Grupos de interés
37. Extracciones agrícolas (hm^3)	Multiplicando "Necesidades regionales de riego teóricas" por "Modernización de regadíos"

Tabla 5.95. Fuente de las probabilidades del Grupo 5. Variables necesarias para el balance hidrológico.

VARIABLES	FUENTE DE LAS PROBABILIDADES
38. Trasvase Tajo-Guadiana (hm^3)	Grupos de interés
39. Uso Urbano (hm^3)	CHG, 2008
40. Nuevos usos del agua (hm^3)	Grupos de interés
41. Uso industrial (hm^3)	CHG, 2008
42. Extracciones no agrícolas (hm^3)	Sumando "Uso Urbano", "Nuevos usos del agua" y "Uso industrial":
43. Lluvia anual (mm)	INE (2008)
44. Recursos renovables (hm^3)	CHG, 2008; Martínez Santos, 2007; INE (2008)
45. Balance hídrico (0) (hm^3)	Restando "Recursos renovables" y "Extracciones no agrícolas"
46. Balance hídrico final (hm^3)	Restando a Balance hídrico (0), las "Extracciones agrícolas"
47. Variación del nivel del acuífero	Martínez Santos, 2007

Tabla 5.96. Fuente de las probabilidades de las variables objetivo o de salida.

VARIABLES	FUENTE DE LAS PROBABILIDADES
48. Producción agraria bruta (Millones €)	Variables "Producción económica del regadío" + "Producción agrícola del secano" + "Otros Ingresos"
49. Nº de agricultores (UTAs)	De la suma: "UTAs del regadío" + "UTAs del secano"
50. Años hasta la recuperación del acuífero	Martínez Santos, 2007

5.5. CONSIDERACIONES FINALES

Hay una serie de variables que se consideraban importantes, pero que no se han incluido. A continuación se da una explicación.

A. Mejora de la comercialización (%)

Representaría el aumento del precio de los cultivos que se puede producir debido a medidas para mejorar su comercialización y su valoración. No se han encontrado estudios que permitan cuantificarlo. En cualquier caso, su efecto si se puede estimar al evaluar la influencia de los precios sobre la producción agrícola. Esto se ha hecho y se expone en el capítulo "Resultados".

B. Consecuencias de las repoblaciones sobre la recarga del acuífero

En un principio se contempló como posibilidad, porque una cubierta vegetal supone un aumento de la evapotranspiración natural. Sin embargo finalmente no se ha considerado significativo por las siguientes circunstancias:

- Las especies arbóreas contempladas en el PEAG para la forestación son especies en su mayoría autóctonas y de bajo consumo hídrico.

- la evapotranspiración es mayor en especies hidrófilas, como las especies de ribera. Las riberas de los ríos van a ser zonas prioritarias para forestar, como parte de las tareas de restauración de los cauces, por lo que estas forestaciones si podrían tener un efecto significativo en la evapotranspiración, y más aún por estar cerca de flujos de agua.

- desde que se planten los árboles hasta el año 2015, el tamaño de los ejemplares será muy pequeño, por lo que la evapotranspiración no será muy grande.

- la forestación puede mejorar la infiltración de agua en el acuífero, así como el almacenamiento de agua en el suelo.

C. Evapotranspiración de los humedales (hm^3)

En el momento en el que el nivel piezométrico ascienda los metros necesarios para que se recupere la conexión humedal-acuífero, las pérdidas por evapotranspiración posiblemente sean importantes y deberían tenerse en cuenta. Sin embargo, antes del año 2015 es imposible que el nivel del acuífero suba lo suficiente como para que los humedales vuelvan a recibir alimentación a partir de la descarga de aguas subterráneas.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA RED BAYESIANA

En este capítulo se presentan y discuten los resultados de la red bayesiana que se ha elaborado en la cuenca alta del Guadiana. Esta red bayesiana representa los regadíos que se encuentran dentro del perímetro del acuífero de la Mancha Occidental. Trata de evaluar las consecuencias que diferentes políticas pueden tener sobre el acuífero, sobre la cantidad de dinero que entra a la región por la venta de las cosechas agrarias, y sobre los empleos agrarios, que son las tres variables "objetivo" de la red bayesiana. Estas tres variables representan los tres aspectos claves de la sostenibilidad: medio ambiente, economía y sociedad. Como se verá más adeltante, el cumplimiento de uno de los objetivos (recuperación del acuífero) puede ser incompatible con el cumplimiento de otros (mantenimiento del número de agricultores). Todo esto se verá con más detalle en los siguientes apartados.

Las políticas que se han tenido en cuenta son, tanto actuaciones incorporadas en el Plan Especial del Alto Guadiana, como políticas agrícolas de la administración regional y de organismos internacionales como la Unión Europea y la Organización Mundial del Comercio (OMC). También se incorporan algunos condicionantes ambientales, como el cambio climático, o la sucesión de años de sequía o de años con muchas lluvias.

No se han tenido en cuenta las medidas de reconversión socioeconómica, de apoyo a actividades tradicionales, etc., que están incluidas en el PEAG, porque no ha sido posible introducir sus efectos debido a que en el PEAG no se establecen objetivos concretos para ellas. Es esperable que dichas medidas de acompañamiento del PEAG creen nuevos puestos de trabajo y nuevos ingresos económicos. Por tanto, los resultados de la red bayesiana pueden servir para estimar el vacío que las medidas de acompañamiento deberían cubrir para mantener el mismo nivel de empleo e ingresos que hay actualmente en la región.

Los valores que se han considerado como posibles para cada variable se describen en el Capítulo 5. "La red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental". El valor de estas variables son la consecuencia de un cierto consenso entre las partes interesadas, como se ha explicado en el Capítulo 4 "Proceso de participación con las partes interesadas". Tal como se explica en el Capítulo 5, la red bayesiana se ha construido para representar un salto de tiempo. Sus variables representan los elementos más importantes que intervienen en la recarga del acuífero, y sus relaciones con diferentes actividades de gestión, la mayoría de ellas contempladas en el PEAG. La red se ha diseñado para, partiendo de la situación actual, calcular cuál podría ser la situación más probable en el año 2015, que es cuando está planificado que se hayan ejecutado y concluido la mayoría de las medidas del PEAG (Presupuestos del PEAG: CHG, 2008).

Como se ha explicado en el capítulo 3 "Metodología", la red bayesiana contiene las probabilidades de los estados de cada variable. Por ejemplo, dependiendo de la precipitación, la recarga del acuífero será distinta. Además, la red bayesiana también permite fijar un estado concreto en las variables, en un momento concreto, para evaluar sus consecuencias. Por ejemplo, se puede cambiar las probabilidades de la variable "Compra de derechos de riego", para ver qué consecuencias tendría que finalmente se hayan comprado (en 2015) 50.000 ha o 25.000 ha.

Utilizando esta técnica y otras que se describen en el presente capítulo, con la red bayesiana se ha analizado la gestión del agua en el acuífero de la Mancha Occidental. Primero se analizan características de la red bayesiana y de sus variables. Por ejemplo, se obtiene cuáles son las más influyentes y las que contienen más incertidumbre, además de analizar algunas variables concretas, como la superficie que actualmente está en regadío, el cambio climático o los nuevos usos del agua. Después se evalúan diferentes escenarios de ejecución del PEAG y de la futura evolución del acuífero. Posteriormente, se investigan las distintas opciones de gestión, y se proponen varios escenarios deseables. Se concluye con una evaluación de los "Diagramas de influencia", que no se han mostrado muy útiles en este caso. Después de estos análisis se presentan unas conclusiones.

Los resultados de la red bayesiana no son deterministas, porque influyen muchos factores que se interrelacionan de forma compleja, entre las que intervienen factores políticos, económicos, sociales, etc. No hay soluciones "mágicas", si no que será necesaria más participación, más negociación, y cambios en los cultivos y en las actividades productivas. Los resultados de la red bayesiana indican que el PEAG tendrá un efecto positivo en la recuperación del nivel del acuífero, pero parece poco probable que se llegue a recuperar del todo antes del año 2027.

6.1.VARIABLES QUE TIENEN MÁS INFLUENCIA SOBRE LAS VARIABLES OBJETIVO

Para saber cuáles son las variables que más influencia tienen sobre las demás, y especialmente sobre las variables "Objetivo" (Producción agraria bruta, Nº de agricultores (UTAs) y Años hasta la recuperación del acuífero), se ha realizado un análisis de sensibilidad de los parámetros (Kjaerulff and Madsen, 2008).

Este análisis mide cuánto varían las probabilidades de una variable (hipótesis) de estar en un estado o en otro, dependiendo de los distintos estados de otra variable. Se analiza cuánto varía una variable objetivo si cambiamos de estado otra variable.

Para calcularlo, se asume que una variable cambia con respecto a otra de forma lineal. La función que puede representar dicha forma lineal es:

[1] $y = \alpha \cdot t + \beta$

La probabilidad de la variable hipótesis sabiendo los estados de otra variable, varía de forma lineal según cambia la otra variable. Por tanto, se puede saber cómo varía una variable en función de otra, si obtenemos un parámetro que describa cuánto cambia. Para eso, se usa la fórmula:

[2] $P(h|E)(t)$

En la que la probabilidad de la variable hipótesis (h) condicionada a una evidencia (E), se multiplica por el parámetro que describe cuánto cambia (t).

Eso, según la fórmula de Bayes (ver capítulo 3, "Metodología"), es igual a:

[3] $\frac{P(h,E)(t)}{P(E)(t)}$

Si ahora se cambia cada parte de la ecuación por la función que describe los estados de cada variable, tendríamos:

[4] $$\frac{\gamma \cdot t + \delta}{\alpha \cdot t + \beta}$$

Con los datos de la red bayesiana, se calculan estos coeficientes. Y el parámetro "t" indica cuánto cambia la variable hipótesis dependiendo de las evidencias de la otra variable.

La derivada de la última fórmula indica cuánto cambia la hipótesis a cambios pequeños de la otra variable. El nuevo parámetro de la derivada, $F'(t^o)$, es conocido como el **Valor de Sensibilidad.** El valor de sensibilidad proporciona información numérica de la cantidad de influencia que una variable tiene sobre otra. En general, cuanto más grande sea el Valor de Sensibilidad, más influencia tiene.

Con el análisis de sensibilidad se han evaluado las variables que tienen más influencia sobre las tres variables objetivo, que son las siguientes:

- "Años hasta la recuperación del acuífero"
- "Producción agraria bruta"
- "Número de agricultores (UTAs)"

Para hacer más evidentes las influencias, también se ha hecho el análisis sobre las variables inmediatamente anteriores a las variables objetivo. Éstas son:

- "Balance hidrológico final"
- "UTAs del regadío"
- "Producción agrícola del regadío"
- "Producción secano + Otros ingresos".

Los valores de sensibilidad de las variables que más influyen sobre ellas se incluyen en la Tabla 6.1 y se resumen en la Tabla 6.2. Los valores de sensibilidad de cada variable con respecto a las demás, que aparecen en ambas tablas, se representan en la figura 6.1. Posteriormente estos valores se han sumado, para saber cuáles son las variables más influyentes en la red bayesiana a nivel general, y los resultados de la suma se han representado en la Figura 6.2.

Tabla 6.1 Valor de sensibilidad de las principales variables de la red bayesiana.

Variable afectada	Variables más influyentes y su correspondiente valor de sensibilidad
Años hasta recuperación del acuífero	Lluvia anual (0,1), Superficie inicial con derecho de riego (0,06), Compra de derechos de agua (0,04), Capacidad para cerrar pozos ilegales (0,04), Cumplimiento del RAE (0,03), Plan de Forestación (0,03) y Superficie actual sin derechos (0,02)
Producción económica del regadío	Superficie inicial con derecho de riego (0,12), Compra de derechos de agua (0,1), Capacidad para cerrar pozos ilegales (0,08), el Plan de Forestación (0,07), Superficie actual sin derechos (0,04), Cumplimiento del RAE (0,02), Escenarios agrícolas (0,02), Programa de reconversión del viñedo (0,02), Precio de los productos agrícolas (0,01)
Número de agricultores (UTAs)	UTAs/ha de cultivo(0,06), Superficie inicial con derecho de riego (0,06), Compra de derechos de agua (0,06), Plan de Forestación (0,04), Capacidad para cerrar pozos ilegales (0,03) y Superficie actual sin derechos (0,02)
Variación en el nivel del acuífero; Balance hídrico final	Lluvia anual (0,18), Cumplimiento del RAE (0,15), Superficie inicial con derecho de riego (0,14), Compra de derechos de agua (0,09), Capacidad para cerrar pozos ilegales (0,11), Plan de Forestación (0,07), Superficie actual sin derechos (0,06), Escenarios agrarios (0,04), Tecnología de riego (0,04), Programa de reconversión del viñedo (0,03), Lluvia de primavera (0,03), Trasvase Tajo-Guadiana (0,2), Abastecimiento urbano (0,01) y Cambio climático (0,01)
Balance hídrico (0)	Lluvia anual (0,08), Trasvase Tajo-Guadiana (0,04), Abastecimiento urbano (0,03), Nuevos usos del agua (0,02) y ni el uso industrial ni el cambio climático.
Extracciones agrícolas (hm^3)	Superficie inicial con derecho de riego (0,08), Compra de derechos de agua (0,08), Capacidad para cerrar pozos ilegales (0,05), Plan de Forestación (0,05), Superficie actual sin derechos (0,02) y Programa de reconversión del viñedo (0,01)
Necesidades regionales de riego teóricas	Superficie inicial con derecho de riego (0,1), Compra de derechos de agua (0,09), Plan de Forestación (0,06), Capacidad para cerrar pozos ilegales (0,05), Superficie actual sin derechos (0,03), Programa de reconversión del viñedo (0,01) y Lluvia de primavera (0,01)
Superficie regable	Compra de derechos de agua (0,09), Superficie inicial con derecho de riego (0,08), Capacidad para cerrar pozos ilegales (0,04), Plan de Forestación (0,06), Superficie actual sin derechos (0,02) y Programa de reconversión del viñedo (0,01)

Tabla 6.2. Resumen de los resultados del análisis de sensibilidad a los parámetros: Valor de sensibilidad de las principales variables de la red bayesiana.

Variables más influyentes / Variables afectadas	Superficie actual con derechos de riego	Compra de derechos de agua	Capacidad para cerrar pozos ilegales	Lluvia anual	Plan de Forestación	Capacidad de aplicar R.A.E.	Superficie actual sin derechos	UTAs/ha cultivo	Plan de reconversión del viñedo	Escenarios agrícolas	Precio productos agrícolas	Modernización de regadíos	Lluvia de primavera	Trasvase Tajo-Guadiana	Cambio Climático	Abastecimiento urbano
Años hasta recuperación del acuífero	0,06	0,04	0,04	0,1	0,03	0,03	0,02	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0	0
Cambio en el nivel del acuífero y Balance Hídrico final	0,14	0,09	0,11	0,18	0,07	0,15	0,06	0	0,03	0,04	0	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
Producción económica del regadío	0,12	0,1	0,08	0	0,07	0,02	0,04	0	0,02	0,02	0,07	0	0	0	0	0
Producción secano + Otros ingresos	0	0,08	0,04	0	0,01	0,07	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0
Número de agricultores	0,06	0,06	0,03	0	0,04	0	0,02	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0
UTAs del regadío	0,08	0,08	0,05	0	0,05	0	0,02	0,08	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0,46	0,45	0,35	0,28	0,27	0,27	0,16	0,14	0,08	0,08	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01

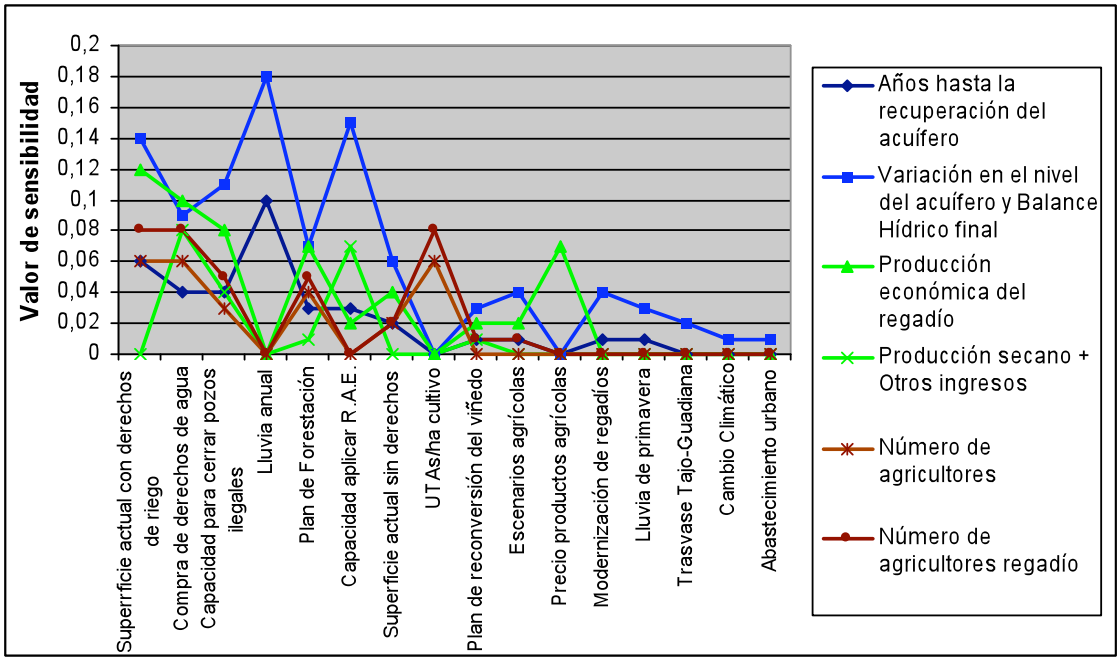


Figura 6.1. Representación de los valores de sensibilidad de las variables más influyentes, con respecto a las variables objetivo.
Las líneas de colores representan cuánta influencia (valor de sensibilidad) tiene cada variable sobre las "variables objetivo": "Años hasta la recuperación del acuífero", "Variación del nivel piezométrico", "Balance hidrológico final", "Producción agraria bruta", "Producción agrícola del regadío", "Producción secano + Otros ingresos", "Número de agricultores (UTAs)", "UTAs del regadío".

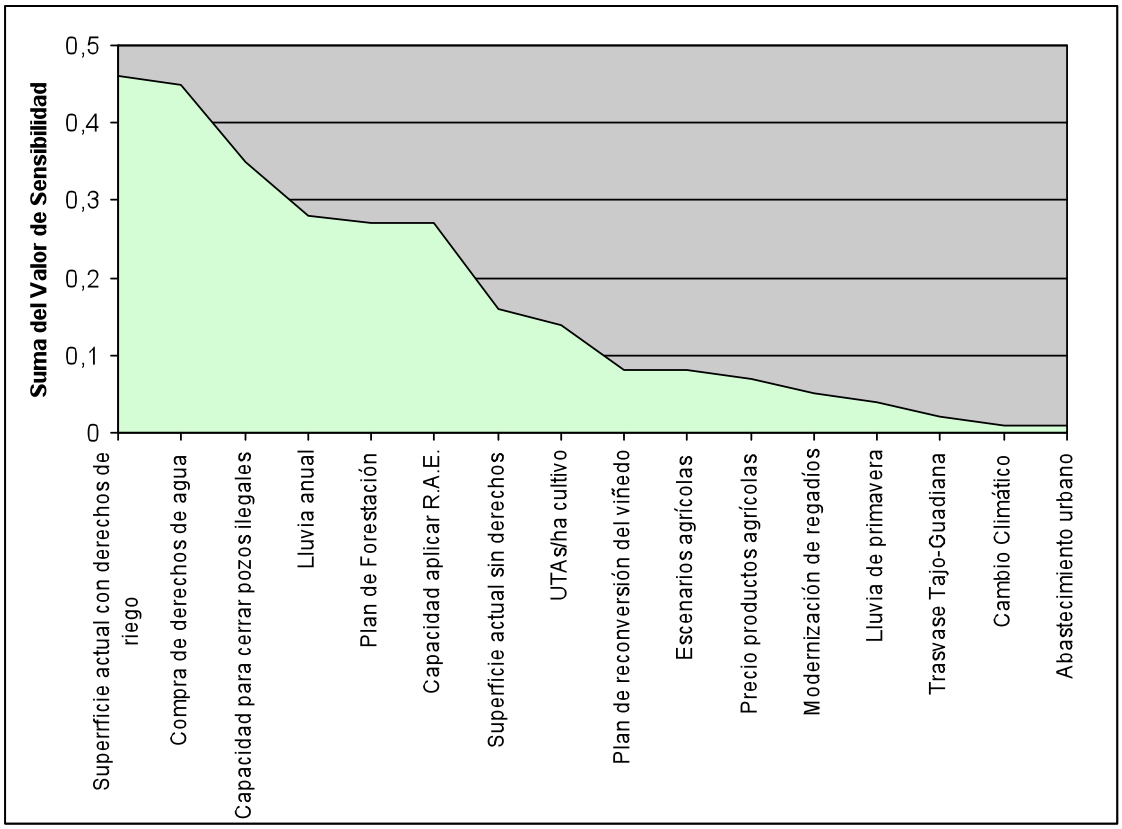


Figura 6.2. Representación de la suma del valor de sensibilidad de cada variable, como forma de visualizar las variables que tienen más influencia o importancia general en los resultados de la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental.

A continuación se comentan las variables que tienen un mayor valor de sensibilidad.

1ª. "Superficie actual con derechos de riego": Es la variable que tiene más influencia sobre la superficie final de regadío (variable "Superficie regable"), que a su vez influye de forma decisiva en las tres variables objetivo: empleos agrarios, producción agrícola y recuperación del acuífero. La gran influencia puede deberse a dos razones:

a) a la gran diferencia de valores que puede tomar (entre 90.000 ha y 215.000ha), y

b) a que es la variable que más determina la superficie de regadío que va a haber finalmente.

Un mayor conocimiento de esta variable depende en gran parte de la voluntad política.

2ª. "Compra de derechos de riego": Esta variable tiene mucha influencia en la superficie final de regadío (variable "Superficie regable"), ya que la superficie susceptible de ser comprada puede llegar a ser 54.000 ha.

3ª. "Capacidad para cerrar pozos ilegales": También influye en la superficie final de regadío (variable "Superficie regable"). Esta variable representa el porcentaje de la superficie sin derechos que la administración sería capaz de obligar a que se dejara de regar. Como es un porcentaje de la superficie sin derechos, cuando ésta es pequeña, la importancia del cierre de pozos también será pequeña. En cambio, cuando se tienen en cuenta la mayor superficie sin derechos, el cierre de pozos ilegales puede llegar a afectar a 77.500 ha.

4ª. "Lluvia Anual": Esta variable no influye sobre las variables relativas a los ingresos agrarios ni a los empleos, pero es una de las más influyentes, como puede verse en la Figura 6.2, porque influye mucho sobre la recuperación del acuífero. En años secos, cuando la lluvia sea escasa, es muy probable que el nivel del acuífero baje; en cambio, los años muy lluviosos, el nivel del acuífero puede subir aunque las extracciones de agua subterránea también sean altas.

5ª. "Plan de forestación": También influye en la superficie final de regadío (variable "Superficie regable"), porque puede llegar a afectar hasta a 80.000 ha.

6ª. "Capacidad de aplicar el RAE": También influye en la superficie final de regadío (variable "Superficie regable") porque puede limitar la superficie máxima de superficie en regadío con derechos de uso de agua. Desde el año 2006 parece que hay un mayor seguimiento del Régimen Anual de Extracciones, y que se ejecutan algunas sanciones por no cumplirlo. Sin embargo no parece fácil conseguir que sea seguido por una gran mayoría de agricultores.

7ª. "Superficie actual sin derechos de riego": Influye en la superficie final de regadío (variable "Superficie regable"), al establecer la superficie actual, y según los diferentes datos consultados puede variar entre 35.000 ha y 90.000 ha.

8ª. "Nº de UTAs/ha": afecta sólo a las variables relacionadas con el empleo agrario, pero de forma muy importante, como se muestra en el gráfico de la Figura 6.1.

9ª "Precio de los productos agrarios": sólo afecta a las relativas a los ingresos económicos agrícolas, como se muestra en el gráfico de la Figura 6.1.

10ª y 11ª "Escenarios agrícolas" y "Plan de reconversión del viñedo": influyen sobre las tres "variables objetivo", pero con poca intensidad en cada una.

Finalmente, hay una serie de variables que sólo afectan a la recuperación del acuífero, y que son, por orden de mayor a menor influencia, la "Modernización de regadíos", la "Lluvia de primavera", el "Trasvase Tajo-Guadiana para abastecimiento urbano", el "Cambio climático" y el "Abastecimiento urbano" (Figura 6.1).

Por lo tanto se puede concluir que las tres variables más importantes o influyentes en la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental son la "Superficie actual con derechos de riego", la "Compra de derechos de riego" y la "Capacidad de cerrar pozos ilegales".

6.2. ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE QUE CONTIENE CADA VARIABLE

El objetivo de este epígrafe es analizar qué variables contienen más incertidumbre y porqué; es decir, si se debe a sus probabilidades o a la amplitud de sus posibles estados. Se han realizado dos análisis, a) mediante un parámetro incluido en el programa HUGIN 6.9, el "Valor de la información de una variable" o entropía, y b) mediante el análisis de la amplitud de los datos existentes. A continuación se esplican los resultados obtenidos con cada una de las dos formas:

6.2.1. El "Valor de la información de una variable"

El "**Valor de la información de una variable**" (o entropía) mide cómo están distribuidas las probabilidades de una variable, es decir, el grado de caos en la distribución de las probabilidades. Mide cómo es de aleatorio el estado de una variable. Cuánto más aleatorio sea, más entropía tendrá. La entropía (y el Valor de la información) se representa con la letra "H".

Por tanto, mide si los estados de una variable tienen una probabilidad similar, o si hay unos que tienen una probabilidad claramente superior. Cuanto más repartidas estén las probabilidades, mayor incertidumbre, menos información, y mayor valor de entropía presentarán. (H). Este "Valor de la información de una variable" se calcula para una determinada situación, es decir, para una determinada distribución de probabilidades de las demás variables. La mayor entropía se alcanza cuando todos los valores tienen la misma probabilidad, y tiene valor 0 cuando un estado tiene todas las probabilidades (100%). Por tanto, la entropía puede utilizarse para medir la incertidumbre que contiene una variable (Kjaerulff and Madsen, 2008; Pág. 240).

A su vez, el "**Valor de la información mutua**" mide la parte de la incertidumbre (entropía) de una variable que es debida a otra variable. Puede ser porque tenga gran influencia sobre ella o porque contenga mucha incertidumbre. La información mutua sirve para saber cuánta parte de la entropía (incertidumbre) de una variable (la objetivo) es debida a otra (la explicativa). También se calcula para una situación concreta (para una determinada distribución de probabilidades de las demás

variables). Si el valor de la información mutua es alto, quiere decir que gran parte de la entropía de la variable objetivo se debe a la variable explicativa, lo que tiene dos significados: quiere decir que está muy influenciada por esa variable, pero también que la entropía de la otra variable es muy alta.

Sobre estas bases, se ha procedido a obtener el "Valor de la información de una variable" y el "Valor de la información mutua" de las variables de la red bayesiana. En la Tabla 6.3 se ve que la variable con mayor incertidumbre es "Extracciones agrícolas" (H = 2,1). La incertidumbre que contiene, a su vez, viene explicada principalmente por las variables "Necesidades regionales de riego teóricas", "Superficie regable", "Superficie con derechos regable tras aplicar RAE" y "Superficie final con derechos de riego", que tienen un alto "Valor de la información mutua" con la variable "Extracciones agrícolas". Las demás variables que tienen mayores valores de "Valor de la información mutua" no son variables "padre" de la red bayesiana (son variables intermedias), y el alto valor de la información mutua indica que comparten incertidumbre.

La variable de la que proviene la mayor parte de la incertidumbre de las demás variables, es la "Superficie con derechos regable tras aplicar RAE". A su vez, las variables "padre" de la red bayesiana que introducen más incertidumbre sobre ella, son la "Superficie actual con derechos de riego" y la "Capacidad de aplicar el RAE", que por tanto, son las Acciones o variables iniciales de la red bayesiana que tienen más incertidumbre.

Tabla 6.3. **Valor de la información y Valor de la información mutua** de las variables de la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental.

Variable afectada (Valor de la información de cada variable: H)	**Valor de la información mutua**															
	Necesidades regionales de riego	Superficie regable	Extracciones agrícolas	Variación del nivel del acuífero	Nº de agricultores de regadío	Producción agrícola de regadío	Superficie con derechos regable tras aplicar RAE	Superficie final con derechos	Balance hídrico	Número de agricultores	Años hasta la recuperación del acuífero	Producción agraria	Capacidad e aplicar el RAE	Superficie actual con derecho de riego	Recursos renovables	Superficie actual de regadío
Extracciones agrícolas (2,1)	1,4	0,9	-	0,3	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	-	0,2	-	-	-	-
Superficie regable (2,0)	1,1	-	0,9	0,2	0,6	0,5	0,7	0,4	0,2	0,5	-	0,3	0,2	0,2	-	-
Necesidades regionales de riego (1,9)	-	1,1	1,4	0,3	0,5	0,5	0,6	0,3	0,3	0,4	-	0,3	-	-	-	-
Superficie con derechos regable tras aplicar RAE (1,8)	0,6	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3	-	1,1	0,2	0,3	-	-	0,4	0,4	-	0,3
Variación del nivel del acuífero; Balance hídrico final (1,8)	0,3	0,2	0,3	1,7	-	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-	0,3	-
Nueva superficie en secano (1,7)	0,2	0,2	0,2	-	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,1
Número de agricultures (1,7)	0,4	0,5	0,3	-	1,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Producción agraria (1,5)	0,3	0,3	0,2	-	0,2	0,8	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Años hasta recuperación del acuífero (1,1)	-	-	-	1,0	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	0,2	-
SUMA	4,3	3,9	3,8	3,7	3,2	2,9	2,1	2,1	2	1,5	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

6.2.2. Amplitud de los datos existentes

A continuación se presentan los rangos de valores que pueden tomar las variables de entrada de la red bayesiana, y las variaciones que puede haber entre sus valores mínimos y máximos:

- Superficie regada actualmente: puede ser como mínimo 130.000 ha y como máximo 260.000 ha. Por lo tanto, hay una incertidumbre del 100% (260.000 ha es un 100% de veces mayor que 130.000 ha). [Datos: CHG, 2008 y Consejería agricultura (JCCM). La reducción de esta incertidumbre depende en gran parte de decisiones políticas. Por ejemplo, en el acuífero de la Mancha Oriente (Albacete), si hay un conocimiento más cercano de la superficie realmente regada.

- Superficie actual con derechos de riego: como mínimo son 100.000 ha, pero según los datos publicaodos en el PEAG podrían llegar a ser 210.000 ha. Hay una incertidumbre del 110%. [Datos: CHG, 2008].

- Superficie actual sin derechos de riego: según los diferentes datos presentes en el PEAG, pueden ser 35.000 ha ó 90.000 ha. Por lo tanto, hay una incertidumbre del 157%. [Datos: CHG, 2008].

- Extracciones agrícolas actuales (hm^3): 300-600 hm^3/año. Incertidumbre del 100%. [Datos: buscar referencias]. Con un conocimiento mayor de la superficie de cada cultivo regado la incertidumbre bajaría significativamente. También aumentará notablemente la certidumbre de esta variable si tiene éxito la instalación de caudalímetros en todos los pozos del acuífero.

- Eficiencia del riego: 68%-88% hm^3. Incertidumbre del 30%. [Datos: PEAG. B. Memoria técnica (Anexo 7). 8.1. Definición de escenarios de uso del agua en la agricultura del Acuífero 23. Pág. 9. Consultado el 22/10/2007. (A partir de datos del Censo Agrario de 1999: Albacete: 73,3%; Ciudad Real: 78,4%; Cuenca: 74,9%)]. la incertidumbre de esta variable, que depende de factores técnicos, es menos que la de otras variables.

- Necesidades teóricas de riego por cultivo:
  Vid: 1.370-1625 m^3/ha. Incertidumbre del 20%.
  Remolacha: 8495-9414 m^3/ha. Incertidumbre del 10%.
  Cereal: 2.885-4.230 m^3/ha. Incertidumbre del 50%.
  [Datos: http://crea.uclm.es/siar].

- Necesidades teóricas de riego por escenarios: en cada escenario agrícola incluido en la red bayesiana, en función de la proporción que haya de cada cultivo, las necesidades medias pueden ser como mínimo 2.400 m^3/ha y como máximo 3.550 m^3/ha. Por lo tanto la incertidumbre en este caso es del 50%. [Datos: http://crea.uclm.es/siar].

- Recarga media del acuífero (hm^3): 240-390 hm^3/año. Incertidumbre del 65%. [Datos: Martínez Santos, 2007. Pág. 117].

- Cambio climático: reducción de la recarga del acuífero entre 3%-6,5%. Incertidumbre del 45%. [Datos: MIMAM, 2000].

- Compra de derechos + reforestación: 15.000-80.000 has. Incertidumbre del 430%. [Datos: CHG, 2008]. Como se ve, es una de las variables que contiene mayor incertidumbre. Esta incertidumbre depende, en este caso, de factores humanos o políticos, pero no técnicos, como ocurre por ejemplo con la superficie regada. Una parte de la incertidumbre proviene del comportamiento humano (si los agricultores estarán dispuestos a vender sus derechos de agua o no; y de la política, es decir, si finalmente llegarán los fondos necesarios para ejecturar estas medidas y el empeño y esfuerzo que se ponga en ello. Dada la crisis económica en la que España se encuentra inmersa en el año 2009, y que nadie preveía apenas dos años antes, es menos fácil que lleguen todos los fondos contemplados en los presupuestos del PEAG.

- Compra de derechos + reforestación 25-130 hm^3. Incertidumbre del: 430%. [Datos: CHG, 2008].

- Control de superficie sin derechos de riego: Puede haber 35.000 ha sin derechos, de un total de 130.000ha, o un 90.000 ha de un total de 260.000 ha: entre un 25% y un 35% del regadío sin derechos de riego. [Datos: CHG, 2008].

- Control de pozos sin derechos de riego: no se han encontrado datos.

- hm^3 extraídos sin derechos de riego: no se han encontrado datos.

- Control de las extracciones en ha. con derechos: Incumplimiento del RAE: 50%-100 % Incertidumbre del 50%.[Datos: opiniones de los grupos de interés participantes en la construcción de la red bayesiana, ya que no hay datos al respecto].

- Precios de los productos agrícolas: (bajos- altos): 110% (remolacha) hasta 360% (pimiento). [Datos: CHG, 2008; MAPA: Anuarios de Estadística Agroalimentaria].

- Productividad más baja: 777 €/ha (cereales)-9.465 (hortícolas): 1220% veces mayor. [Datos: CHG, 2008; MAPA: Anuarios de Estadística Agroalimentaria].

-Productividad por cultivos: ya que la productividad depende mucho de cada cultivo, es necesario calcular la incertidumbre para cada tipo de cultivo (Tabla 6.4).

Tabla 6.4. Productividad por cultivos (€/ha).
Fuente: CHG, 2008; MAPA: Anuarios de Estadística Agroalimentaria.

Tipos de cultivos	Muy Baja	Muy Alta	Incertidumbre asociada
CEREALES	777	1.135	45%
HORTÍCOLAS	4.178	9.465	130%
VIÑEDO	1.634	4.771	190%
OTROS	1.874	1.979	5%

-Productividad por escenarios: 1.500-4.000 €/ha. Incertidumbre del 170%. [Datos: CHG, 2008; MAPA: Anuarios de Estadística Agroalimentaria].

- UTAs/ha de cultivo: dado que lel empleo que requiere depende mucho de cada cultivo, es necesario calcular la incertidumbre para cada tipo de cultivo (Tabla 6.5).

Tabla 6.5. UTAs/ha de cultivo.
Fuente: CHG, 2008; Consejería de agricultura de Castilla la Mancha; De Juan Valero et al., 2003.

Cultivos	Min	Max	%
Trigo	0,011	0,021	91%
Cebada	0,01	0,025	150%
Avena	0,016	0,018	13%
Melón	0,125	0,321	157%
Pimiento	0,247	1,421	475%
Ajo	0,2	0,406	103%
Cebolla	0,174	0,692	298%
Viñedo	0,09	0,383	326%
Remolacha	0,014	0,14	900%
Alfalfa	0,021	0,042	100%
Maíz	0,014	0,042	200%

- UTAs por escenarios: 0,059-0,296 UTAs/ha. Incertidumbre del 400%.[Datos: CHG, 2008; Consejería de agricultura de Castilla la Mancha; De Juan Valero *et al.*, 2003].

6.3. ANÁLISIS DE ALGUNAS VARIABLES CONCRETAS

6.3.1 Superficie de cultivos de regadío en el acuífero de la Mancha Occidental y sus incertidumbres

Como se ha visto en el apartado anterior, la superficie actual de cultivos de regadío en el acuífero de la Mancha Occidental, tanto con derechos como sin derechos, son dos de las variables más influyentes en los resultados finales. A continuación se expone un análisis individualizado de estas variables.

Una de las mayores incertidumbres de la situación del acuífero de la Mancha Occidental concierne precisamente a la superficie que actualmente ocupan los cultivos de regadío: según los datos de la CHG hay aproximadamente 175.000 ha que tienen derechos de riego y 85.000 ha que no los tienen, lo que suma 260.000 ha (Comunicación por escrito de la Oficina de Planificación de la CHG). Esta misma cifra total (260.000 ha) es aportada también por la Consejería de Agricultura como la existente actualmente dentro del perímetro del acuífero. Sin embargo, un estudio con imágenes de satélite del año 2005 (CHG, 2008) sitúa la superficie regada dicho año en aproximadamente 130.000 ha. Es la mitad de la cifra anterior. Y la CHG utiliza esta última cifra de forma repetida, considerándola la realmente regada, en el contenido del PEAG. Como se verá a continuación, la gran discrepancia entre ambos datos determina totalmente los resultados de la red bayesiana. Por eso, todas las simulaciones que se presentan en este capítulo tienen en cuenta ambas superficies.

A continuación se expone un análisis que se ha realizado para intentar saber cuál debe ser la superficie real que está en riego actualmente. Lo primero que se ha hecho es ejecutar la red bayesiana estableciendo un escenario similar a la situación actual: "Escenario Actual" (descrito más adelante, en el apartado 6.2.1). Para ello, se han fijado las probabilidades en los valores correspondientes a la situación actual (por ejemplo, las superficies de cultivos en regadío de 2005-2006) o a los datos medios de

otras variables (por ejemplo, los precios de los productos agrarios o la pluviometría). Las medidas del PEAG no se han incluido (ya que actualmente todavía no se han aplicado), ni los efectos del cambio climático. Se han realizado dos simulaciones, una considerando 130.000 ha regadas actualmente y otra 260.000 ha.

El siguiente paso para tener una indicación de la superficie actual en regadío más probable, ha sido contrastar los resultados de la red bayesiana tras ejecutar las dos simulaciones, con datos actuales. Para ello, se han buscado datos actuales con el mayor grado de fiabilidad posible. Los datos con los que se ha comparado son: a) la variación del nivel piezométrico, b) nº actual de agricultores y c) producción agraria bruta regional.

a) Variación del nivel piezométrico.

Uno de los datos más objetivos, más conocidos y con menor rango de error, es el nivel piezométrico del acuífero. Aún así, esta fuente de información también tiene incertidumbres, pues responde no sólo a las extracciones, sino también a la recarga proveniente de la lluvia; y al tratarse de un acuífero de considerables dimensiones, su respuesta a las extracciones es variable de unas zonas a otras. Los niveles piezométricos durante los años 2006 y 2007 se han mantenido estables (CHG, 2009; Figura 2.13). Eso quiere decir que durante estos dos años las extracciones han debido aproximarse a la recarga del acuífero, que durante estos dos años ha sido elevada (2006 ha sido clasificado como año con precipitaciones medias y 2007 como año húmedo).

Simulando que actualmente hay 260.000 ha en regadío, el nivel freático bajaría cada año entre un metro y medio, y tres metros y medio (Apartado 6.2.1). Por tanto, si la situación actual se mantuviese igual durante los próximos años, el acuífero seguiría vaciándose y por tanto, los humedales asociados no se recuperarían. En cambio, contemplando una superficie de regadíos cercana a las 130.000 ha, el acuífero variaría entorno a -1 m/año (con años medios, no húmedos como 2006 y 2007) y la variación del nivel piezométrico se sitúa con un 50% de posibilidades de seguir bajando, un 10% de seguir estable, y un 35% de recuperarse (Apartado 6.2.1). En estas condiciones, la red bayesiana que mejor responde a la situación actual es aquella en la que se contempla que la superficie que se riega actualmente es cercana a las 130.000 ha.

En la red bayesiana se han utilizado como fuente de los datos hidrológicos, el Modelo hidrogeológico de Martínez Santos *et al*. (2008-b), que utiliza la cifra de 130.000 ha como la superficie actual de riego. En dicho trabajo esa superficie fue la que reportó unos datos más coincidentes con la variación medida del nivel piezométrico. Probablemente por esa razón, en esta red bayesiana estos resultados también coinciden con las 130.000 ha.

b) Nº actual de agricultores

El número de agricultores que hay actualmente en el acuífero de la Mancha Occidental se ha estimado a partir de los datos del PEAG, donde aparecen clasificados por comarcas agrarias para el año 2001. Se han hecho una serie de cálculos para estimar los datos en el acuífero de la Mancha Occidental, para los años 2001 (año del que provienen los datos del PEAG), 2005 (cuando se hizo el estudio mediante imágenes de satélite) y 2008 (año actual).

Según dichas estimaciones, el sector agrario ocupa actualmente a entre 10.000 y 22.000 personas (Tabla 6.6). No ha sido posible distinguir entre los empleos en cultivos de regadío y de secano, por lo que la comparación con los resultados de la red bayesiana requeriría disminuir algo estas cifras. Sin embargo, los datos del PEAG probablemente no incluyan a todos los trabajadores temporales, que también son una parte importante del empleo generado, y que si son contemplados en la red bayesiana. Este segundo hecho actúa con efecto contrario a la circunstancia anterior, y hace más comparables estos datos con los de la red bayesiana. Estas estimaciones coinciden mucho mejor con los resultados de la red bayesiana teniendo en cuenta una superficie inicial de aproximadamente 130.000 ha (Tabla 6.6 y Figura 6.3). Es decir, que el número de agricultores calculado en el PEAG se parece más a los resultados de la red bayesiana considetando que actualmente hay aproximadamente 130.000 ha en regadío. Las tablas en las que se muestran estos datos desagregados se muestran en el Anexo nº 1.

Tabla 6.6. Empleo agrícola en el acuífero de la Mancha Occidental. Comparación entre las estimaciones hechas a partir de datos de la CHG (2006b y 2008) y los resultados de la red bayesiana.
Fuente:
CHG. (2006b). Tendencias pasadas y escenarios 2015. Uso agrícola y ganadero. Pág. 62. Análisis económico de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana según la Directiva Marco del Agua.
CHG (2008). PEAG. Memoria Técnica (Anexo 7). 3. Estudio socioeconómico. 1. Estudio Socioeconómico del Ámbito Territorial. Pág. 33.)
Empleo (puestos de trabajo) de la sub-rama agrícola para las Comarcas agrícolas llamadas "Mancha", en distintas provincias de Castilla la Mancha, en el Alto Guadiana; y resultados para los mismos datos de la red bayesiana, simulando la situación actual del acuífero.

Nº de Empleos en el acuífero			
Año	Datos del PEAG	Resultados de la red bayesiana	
		260.000 ha	130.000 ha
2001[1]	10.400-18.000	15.000-20.000: 10% 20.000-30.000: 70% 30.000-40.000: 10%	10.000-15.000: 50% 15.000-20.000: 25%
2001[2]	11.500-13.500		
2005[1]	10.400-20.500		
2005[2]	13.000-15.400		
2008[1]	10.400-22.300		
2008[2]	14.100-16.750		

[1] Primer valor correspondiente a la Comarca Agraria de la Mancha-Ciudad Real y segundo valor correspondiente al conjunto de todas las comarcas agrarias llamadas "Mancha".
[2] Valores de una estimación del acuífero de la Mancha Occidental, a partir de los datos de las Comarcas Agrarias llamadas "Mancha".
Los valores de 2005 y 2008 resultan de proyectar las tendencias observadas en el periodo 1995-2003 aplicando la tasa de crecimiento anual media en dicho periodo. Dicha tasa es del 3,29% en el caso de los empleos.
Para más información sobre el origen de estos datos, se pueden consultar las tablas del anexo 1.

La Figura 6.3 representa, mediante las líneas amarilla y roja, las probabilidades en la red bayesiana de que haya un número de agricultores (UTAs) u otro, dependiendo de la superficie en regadío considerada (130.000 ha y 260.000 ha, respectivamente). La línea azul representa el número de UTAs que es más probable que haya realmente, a partir de los datos del PEAG (CHG, 2008).

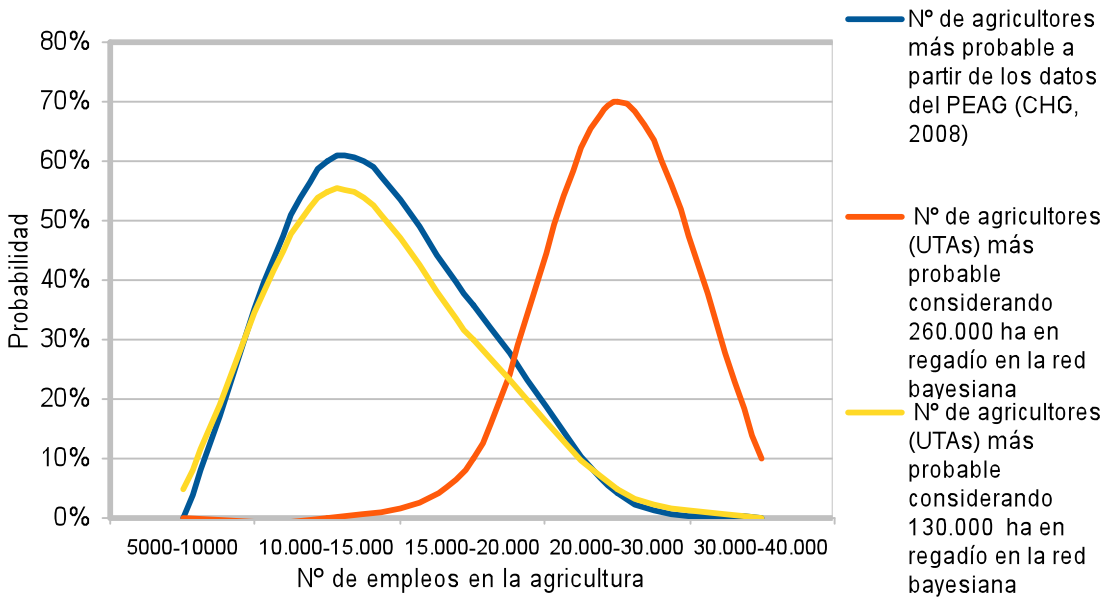


Figura 6.3. Comparación entre el nº de agricultores en el acuífero de la Mancha Occidental (nº de puestos de trabajo) estimados a partir de los datos de la CHG (2006b y 2008) y los obtenidos con la red bayesiana.
El Coeficiente de relación entre la línea construida con datos de la CHG y la línea con los resultados de la red bayesiana considerando una superficie actual en regadío de 260.000 ha es 0,13. En cambio, el coeficiente de relación con los resultados de la red bayesiana considerando una superficie actual de 130.000 ha es 0,99.

c) Producción agraria bruta regional

La producción agraria bruta regional se ha estimado a partir de los datos del PEAG, donde aparecen clasificados por comarcas agrarias para el año 2001. Se han hecho una serie de cálculos para estimar los datos en el acuífero de la Mancha Occidental, para los años 2001 (año del que provienen los datos del PEAG), 2005 (cuando se hizo el estudio mediante imágenes de satélite) y 2008 (año actual).

Al comparar los resultados de la variable "Producción agraria bruta" de la red bayesiana, con los datos equivalentes aportados por la CHG (2006b y 2008), también hay una mayor coincidencia cuando la red bayesiana considera 130.000 ha actualmente en regadío (y no 260.000 ha) (Tabla 6.7 y Figura 6.4). Es decir, que la producción agraria actual calculada en el PEAG se parece más a los resultados de la red bayesiana considetando que actualmente hay aproximadamente 130.000 ha en regadío.

Tabla 6.7. VABpb (mill. €) de la sub-rama agrícola para las Comarcas agrícolas llamadas "Mancha", en distintas provincias de Castilla la Mancha, en el Alto Guadiana; y resultados para los mismos datos de la red bayesiana, simulando la situación actual del acuífero.
Fuente:
CHG, 2006b. Tendencias pasadas y escenarios 2015. Uso agrícola y ganadero. pp. 62. Análisis económico de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana según la Directiva Marco del Agua.
CHG, 2008. PEAG. Memoria Técnica (Anexo 7). 3. Estudio socioeconómico. 1. Estudio Socioeconómico del Ámbito Territorial. pp. 33.

Valor añadido bruto en el acuífero (millones de €)			
Año	Datos del PEAG	Resultados de la red bayesiana	
		260.000 ha	130.000 ha
2001[1]	260-425	400-550: 35% 550-700: 40% 700-850: 15%	90-250: 15% 250-400: 65% 400-550: 20%
2001[2]	280-330		
2005[1]	260-425		
2005[2]	285-330		
2008[1]	260-430		
2008[2]	285-335		

[1] Primer valor correspondiente a la Comarca Agraria de la Mancha-Ciudad Real y segundo valor correspondiente al conjunto de todas las comarcas agrarias llamadas "Mancha".
[2] Valores de una estimación del acuífero de la Mancha Occidental, a partir de los datos de las Comarcas Agrarias llamadas "Mancha".
Los valores de 2005 y 2008 resultan de proyectar las tendencias observadas en el periodo 1995-2003 aplicando la tasa de crecimiento anual media en dicho periodo. Dicha tasa es del 0,20% en el VABpb.
Para más información sobre el origen de estos datos, se pueden consultar las tablas del anexo 1.

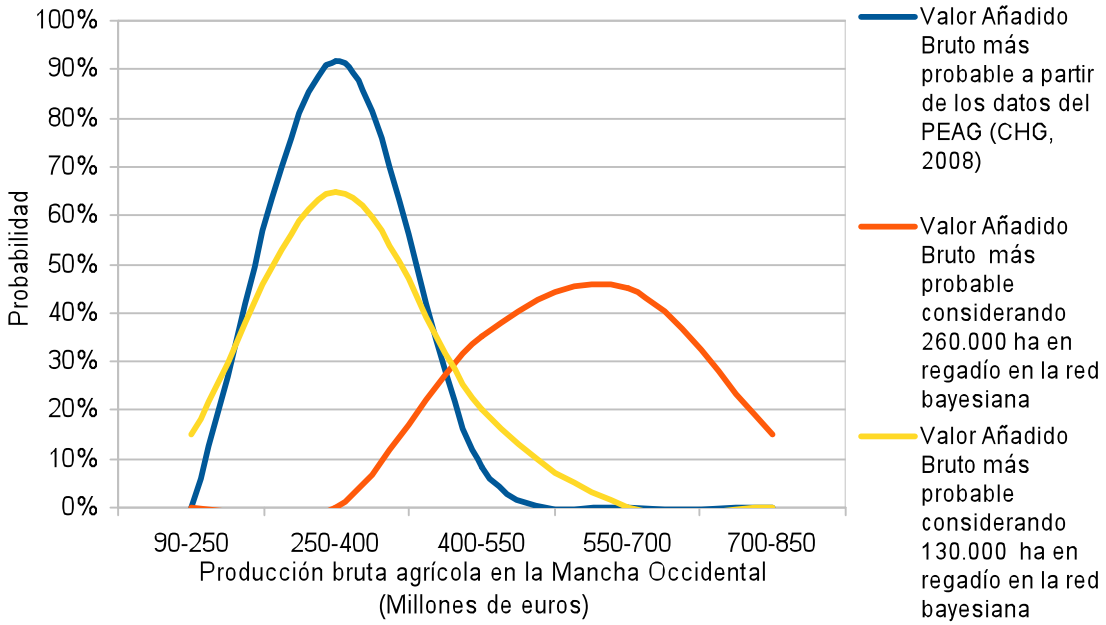


Figura 6.4. Comparación entre la producción bruta (Valor Añadido Bruto) de la agricultura en el acuífero de la Mancha Occidental estimada a partir de los datos de la CHG (2006b y 2008) y la obtenida con la red bayesiana.
El Coeficiente de relación entre la línea construida con datos de la CHG y la línea con los resultados de la red bayesiana considerando una superficie actual en regadío de 260.000 ha es 0,24. En cambio, el coeficiente de relación con los resultados de la red bayesiana considerando una superficie actual de 130.000 ha es 0,92.

Todos los indicadores, tanto los socioeconómicos (número de empleos y valor económico) como los físicos (nivel del acuífero), parecen corroborar que la superficie que se riega actualmente en el acuífero de la Mancha Occidental se aproxima a las 130.000 ha. Si esto se confirmara, tendría grandes consecuencias para la aplicación del PEAG, ya que gran parte de la superficie que potencialmente podría vender sus derechos de riego pertenecerá, previsiblemente, a aquella que no está siendo regada actualmente, con lo que no se estaría ahorrando agua. Si actualmente sólo se riegan 130.000 ha, quiere decir que hay mucha superficie con derechos de riego que no se riega por diversas razones, y que hay menos superficie de la estimada sin derechos de riego (o que regaron en algún momento pero actualmente ya no lo hacen).

De igual forma, la compra de derechos de agua de tierras que actualmente no se están regando, puede ser útil para evitar que vuelvan a regarse en el futuro, siempre que la CHG no pueda cancelarlos directamente. De todas formas, parece razonable que en el caso de comprarse esos derechos, la compra de dichos derechos debería hacerse por un precio más reducido que el de las tierras que actualmente si se están regando.

Finalmente hay que decir que el conocer la superficie real de cultivos en regadío en el acuífero de la Mancha Occidental depende en gran parte (aunque no sólo), de la voluntad política. La confusión en los datos permite utilizar una superficie u otra en función de los intereses de cada momento. Es significativo que, en un acuífero con una situación parecida, el acuífero de la Mancha Oriental, en Albacete, si se conozca con mayor precisión la superficie regada.

Como conclusión, apuntamos dos hechos:

a) Si realmente hay 260.000 ha, la recuperación del acuífero no podrá darse, casi con total seguridad, antes de 2027, y en ese caso, habría que contemplar la posibilidad de pedir una prórroga a la UE.

b) Para partir del escenario de 130.000 ha, hay que conseguir controlar muy bien que las hectáreas compradas son realmente las que han estado regándose estos últimos años. La compra de derechos de tierras que no tengan agua, o que a pesar de tenerla no se han regado los últimos años por diferentes razones, no sería compatible con las previsiones de estos escenarios, y la recuperación del acuífero sería más lenta. Por tanto, se convierte en tarea primordial saber qué agricultores han regado durante los últimos 5 años. Una forma de hacerlo sería consultando el registro de producción de cada agricultor, o las cuentas de la explotación de los últimos años.

6.3.2 Mejora de la comercialización de los productos agrarios

En la red bayesiana no se ha incluido una variable representando la "Mejora de la comercialización de los productos agrarios" porque era muy difícil introducirla de manera objetiva. Sin embargo, se ha realizado una simulación para analizar cómo podría influir los precios agrícolas en la producción económica del regadío.

La simulación ha consistido en obtener los resultados de la variable "Producción agraria bruta en el acuífero de la Mancha Occidental" (Millones de euros), introduciendo en la red bayesiana diferentes superficies y los diferentes niveles de precios: precios altos,

medios y bajos. Dichos precios se pueden consultar en el Capútilo 5, en la tabla 5.40. Por ejemplo, se ha considerado como precios bajos del trigo 0,15 €/kg, precios medios 0,19 €/kg, y 0,22 €/kg; precios bajos del melón 0,12 €/kg, precios medios 0,20 €/kg y precios altos 0,27 €/kg; y para la uva, 0,19/kg como precio bajo, 0,34 €/kg como precio medio, y 0,48 €/kg como precio alto.

Los resultados de la simulación muestran que los valores de la producción agrícola regional se ven muy influidos por los precios de los productos agrarios. De hecho, las simulaciones realizadas con la red bayesiana demuestran que superficies de regadíos pequeñas y precios medios o altos, pueden producir los mismos ingresos que superficies mayores pero con precios bajos (Figura 6.5 y Tabla 6.8). Por tanto, se puede concluir que una mejora de la comercialización hacia productos de mayor calidad y más caros, sería una forma efectiva de mantener o aumentar los ingresos agrarios, incluso a pesar del descenso de la superficie en regadío.

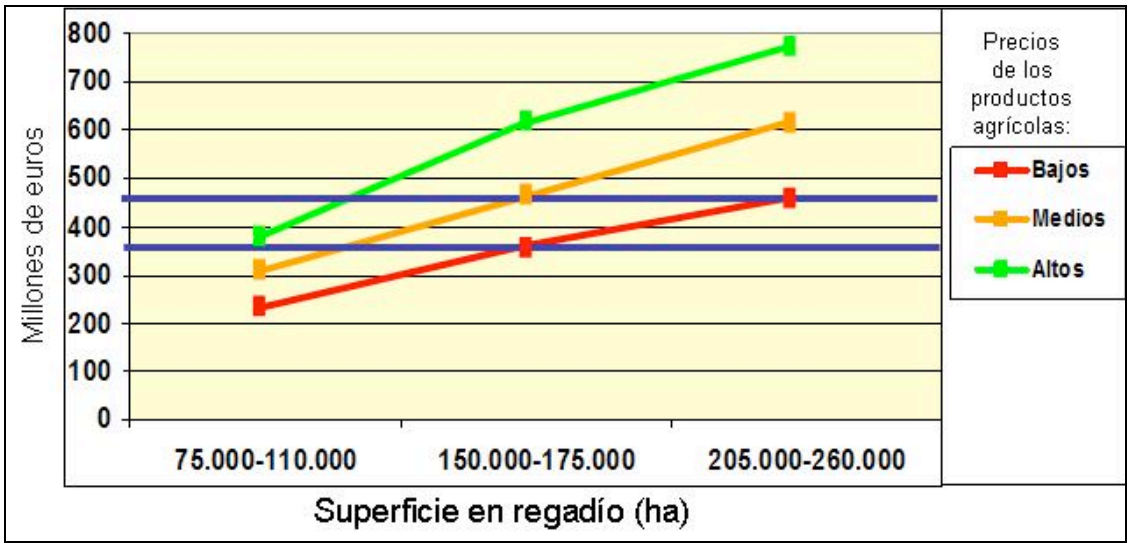


Figura 6.5. Resultados de la variable "Producción agraria bruta en el acuífero de la Mancha Occidental" (Millones de euros), calculada con la red bayesiana considerando diferentes superficies y diferentes precios de los productos agrícolas.

Tabla 6.8. Resultados de la variable "Producción agraria bruta en el acuífero de la Mancha Occidental" (Millones de euros), calculada con la red bayesiana considerando diferentes superficies y diferentes precios de los productos agrícolas.

		Superficie en regadío (hectáreas)		
		75.000-110.000	150.000-175.000	205.000-260.000
Precios productos agrícolas	Altos	393	625	775
	Medios	325	475	625
	Bajos	255	380	475

6.3.3 Influencia del cambio climático

Para analizar la importancia y consecuencias de una variable sobre otra, hay dos posibles métodos: realizar un análisis llamado *Parameter Sensitivity Analisis* y proceder mediante simulaciones.

Según el *Parameter Sensitivity Analisis*, el cambio climático tiene sólo un valor de 0,02 en algunos casos concretos, es decir, que su influencia sobre la recuperación del acuífero en el año 2015 es muy pequeña.

Al hacer simulaciones en la red bayesiana, introduciendo las condiciones más probables (según las estadísticas y las opiniones de los grupos de interés), un cambio climático severo tendrá una consecuencia en la recuperación del acuífero en el año 2015 de entre un -3% y un -4%, y sobre la producción agraria, de entre -1% y -2%.

A su vez, un cambio climático moderado supondría un descenso del 1% en ambas variables. El número de empleos no cambiaría en ninguno de los dos supuestos.

Por lo tanto, se puede concluir que el cambio climático no tiene una gran influencia en el corto plazo. Sin embargo, está previsto que los efectos del cambio climático sean más importantes a largo plazo. Eso no puede ser evaluado correctamente con esta red. Por eso se hace necesario construir una red bayesiana dinámica, que pueda representar al sistema cambiando con el tiempo. Esto se hace en el siguiente capítulo "Red bayesiana dinámica".

6.3.4 Nuevos consumos de agua y usos de agua industrial

La variable que representa los nuevos consumos de agua también es muy poco influyente en los resultados. Se ha diseñado estimando que en los próximos años, como mucho, se pueden construir la mitad de los edificios e infraestructuras que se han construido hasta la actualidad. Por tanto, su consumo de agua podría llegar a ser la mitad del consumo urbano actual. Dicha cifra, 12 hm^3, afecta a la recuperación del acuífero en un 1%.

Según el *Parameter Sensitivity Analisis*, sería cuatro veces menos influyente que el cambio climático, por lo que su influencia sobre la recuperación del acuífero en el año 2015 es prácticamente insignificante.

De igual forma, aunque el consumo industrial doblara su consumo actual, sería muy poco influyente en cuanto a la cantidad de agua en el acuífero (aunque si puede ser importante su efecto en la calidad, pero esto queda fuera del ámbito de esta tesis).

6.3.5 Trasvase para sustitución de bombeos

Desde algunos sectores se aboga un trasvase de agua desde fuera de la cuenca hidrográfica del Alto Guadiana, con el objetivo de utilizarlo en los cultivos en regadío, y de esta forma reducir las extracciones de agua subterránea en el acuífero de la Mancha Occidental. Para evaluar sus consecuencias sobre la recuperación del acuífero con la red bayesiana, se ha fijado la variable "Recursos renovables" en el máximo:

425-680 hm^3. Es decir, se ha considerado que un trasvase de aproximadamente 160 hm^3/año, aseguraría unas entradas de agua altas al acuífero.

Su impacto sería muy grande ya que introduciendo dicho trasvase en los escenarios estudiados, la subida del nivel en el el acuífero sería, de media, un 40% mayor. Por ejemplo, la recuperación del acuífero en el largo plazo podría pasar de tener una probabilidad del 10% al 50%, y la probabilidad de recuperarlo antes de 2027 podría subir del 20 al 60%..

Según el *Parameter Sensitivity Analisis*, sus consecuencias se pueden evaluar mediante la variable "Lluvia anual", ya que es la "variable padre" más importante de "Recursos renovables". Y como se ha visto en la parte dedicada a este análisis, dicha variable es una de las más determinantes para la recuperación del acuífero, teniendo los valores de sensibilidad más altos de toda la red, llegando a ser de 0,18, que es el mayor valor identificado.

Por tanto, una sustitución de bombeos por aguas superficiales provenientes de un trasvase, podría aumentar las posibilidades de recuperar el acuífero en un 40%. Estos son los resultados desde el punto de vista hídrico, y sería conveniente tener en cuenta también las circunstancias sociales y económicas en las que se podría realizar dicho trasvase. Teniendo en cuenta la situación socioeconómica actual, y el comportamiento de los actores implicados (agricultores y administraciones, principalmente) en los años precedentes, Martínez Santos *et al*. (2008-b) desaconsejaban esta medida. Según dicho trabajo, sin un control real del consumo de agua por la agricultura, dicho trasvase podría incluso provocar un consumo de agua del acuífero mayor que el actual. Es decir, para que un hipotético trasvase sirviese para recuperar el nivel del acuífero, seguiría siendo necesaria una actuación política clara para controlar las extracciones con fines agrícolas: que no se abriesen nuevos pozos, que los que hay no usaran más agua de la permitida, etc.

6.3.6 Cultivos de secano

Ha sido necesario incluir los ingresos y empleos de los nuevos cultivos de secano que resultan de la ejecución de las medidas del PEAG. Sin embargo, hay dos factores que hacen que sean poco importantes frente a las cifras del regadío. El primer factor es que la superficie que podrían llegar a ocupar es menor que la que hay en regadío, ya que precisamente las nuevas tierras de secano provienen de las que se dejan de regar. Sólo en muy pocas ocasiones se podría dar la circunstancia de que la superficie final de secano fuese mayor que la de regadío: contando con que la superficie actual es de 130.000 ha, contando con que no se dedicada a forestación nada de la tierra a la que se ha comprado los derechos y por tanto toda la tierra comprada pasa a ser secano; y contando con que la aplicación de la ley es total y, por tanto, se respeta totalmente el RAE (con lo que una parte de la explotación en regadío tendría que mantenerse en secano) y que todas las explotaciones sin derechos dejan de regar y pasan a cultivar secano.

Pero incluso en ese caso, la importancia socioeconómica del secano también sería menor, pues los empleos requeridos y la producción bruta del secano es menor que la del regadío (aproximadamente una décima parte por unidad de área).

Por tanto, se ha considerado apropiado incluir estas variables en la red, pero su efecto sobre las variables de empleos y producción agrarios, es de aproximadamente entre un cuarto y una décima parte que la del regadío.

6.4 EVALUACIÓN DE DIFERENTES ESCENARIOS DE APLICACIONES DEL PEAG

Debido a la gran cantidad de variables y al gran número de combinaciones que se podrían hacer, resulta conveniente construir una serie de escenarios posibles que evalúen más combinaciones que las hasta aquí presentadas. Para evaluar los resultados se presentan sólo algunos escenarios de todos los posibles, que resumen las opciones más plausibles.

Como se ha comentado anteriormente, todos los escenarios se han simulado doblemente, para comparar los resultados que se obtienen considerando las posibles extensiones actuales de regadíos: 130.000 ha y 260.000 ha.

6.4.1 Escenario Situación Actual

Es el escenario que representa la situación actual en el acuífero. Por ello se han introducido los datos más actuales de ciertas variables, (por ejemplo el consumo urbano) y los datos medios de otras (por ejemplo los "Precios de los productos agrícolas", las "Necesidades de riego de los cultivos" o la pluviometría; Tabla 6.9). Se ha considerado que si no se aplicase el PEAG, la situación seguiría de una forma parecida a la actual, por lo que las medidas del PEAG no se han incluido, ni los efectos del cambio climático. Los resultados muestran que el acuífero se mantendría o descendería, pero tendría muy pocas posibilidades de recuperarse. Este escenario se ha comentado en el apartado 6.1.2.

Tabla 6.9. Estados que se han asignado a las "variables de entrada" de la red bayesiana en elEscenario Situación Actual.
Se señalan en negrita las medidas del PEAG.

	Acción o condición	Estado
1	**Plan de forestación**	0 ha compradas
2	**Compra de derechos de agua**	0 ha compradas
3	**Capacidad para cerrar pozos ilegales**	Actual
4	**Capacidad de aplicar RAE (Régimen Anual de Extracciones)**	0% respeto del Régimen Anual de Extracciones
5	**Modernización de regadíos**	Tecnología actual
6	Plan de reconversión del viñedo	0 ha afectadas
7	Escenarios de mercado y políticas agrarias	Actual (2005)
8	Cambio climático	Sin consecuencias medibles
9	Trasvase Tajo- Guadiana	Sin trasvase
10	Lluvias anual y de primavera	Año medio y primavera media
11	Precios de los productos agrícolas	Precios medios (1995-2004)

Simulando que actualmente hay 260.000 ha en regadío, el nivel freático bajaría cada año entre un metro y medio, y tres metros y medio. Por tanto, si la situación actual se

mantuviese igual durante los próximos años, el acuífero seguiría vaciándose y por tanto, los humedales asociados no se recuperarían. El número de Unidades de Trabajo Agrícola (UTAs) se sitúa en 20.000-30.000 y la producción económica agraria entre 550 y 700 millones de euros. En la Tabla 6.10 se recogen los resultados de este escenario.

Los mismos datos pero con una superficie inicial con derechos entre 90.000 y 110.000 ha y una superficie inicial sin derechos entre 35.000 y 45.000 ha (equivalentes a las 130.000 ha resultantes del estudio con imágenes de satélite del año 2005) proporcionan los siguientes resultados (Tabla 6.10): la dinámica actual implicaría que el acuífero variaría entorno a -1m/año (con años medios, no húmedos como 2006 y 2007) y que no se recuperase nunca (85% de probabilidades), mientras los ingresos agrarios y el número de empleos agrícolas, sería más bajo que en el caso anterior (alrededor de 15.000 UTAs, y entre 250 y 400 millones de euros).

Tabla 6.10. Resultados de las principales "variables objetivo" de la red bayesiana en el Escenario Situación Actual, contando con una superficie aproximada de regadío actual de 260.000 ha o de 130.000 ha.

Variable	Posibles estados	Probabilidad de que ocurra	
		260.000 ha	130.000 ha
Superficie final regable	240.000-270.000 ha	85%	0%
	110.000-150.000 ha	0%	70%
Extracciones agrícolas	>900 hm^3	75%	0%
	700-900 hm^3	15%	0%
	600-700 hm^3	10%	0%
	500-600 hm^3	0%	15%
	400-500 hm^3	0%	45%
	300-400 hm^3	0%	30%
Variación del nivel del acuífero	< -2 m/año	95%	25%
	-2/-0,2 m/año	5%	45%
	-0,2/0,2 m/año	0%	8%
	+0,2/+5,4 m/año	0%	20%
Años hasta recuperación de humedales	Nunca	99%	70%
	Sin cambios (nunca)	1%	15%
	Entre 12 y 40 años	0%	10%
	Antes de 2027	0%	5%
Número de UTAs	5.000-10.000	0%	10%
	10.000-15.000	0%	50%
	15.000-20.000	10%	25%
	20.000-30.000	70%	10%
	30.000-40.000	10%	0%
Producción agraria	90-250 Mill. de €	0%	15%
	250-400 Mill. de €	0%	65%
	400-550 Mill. de €	35%	20%
	550-700 Mill. de €	40%	0%
	700-850 Mill. de €	15%	0%

Los resultados de este escenario si se introduce en la red bayesiana la existencia de una coincidencia de años húmedos hasta el año 2015, contando con 130.000 ha en regadío la situación cambia considerablemente en lo que respecta a la recuperación del acuífero: En este caso, las probabilidades de recuperar el acuífero antes de 2027 suben del 5% al 15%, y las posibilidades de que no se recupere nunca, bajan del 85% al 65% (Tabla 6.11).

Tabla 6.11. Resultados de las principales "variables objetivo" para evaluar las consecuencias de una **secuencia de años húmedos en el Escenario Situación Actual** con una superficie aproximada a 130.000 ha de regadío actuales.

Variable	Posibles estados	Probabilidad de que ocurra
Superficie final regable	110.000-150.000 ha	70%
Extracciones agrícolas	400-500 hm^3 300-400 hm^3	45% 40%
Variación del nivel piezométrico	< -2 m/año -2/-0,2 m/año -0,2/0,2 +0,2/+5,4	15% 35% 10% 35%
Años hasta recuperación de humedales	Nunca Sin cambios (nunca) Entre 12 y 40 años Antes de 2027	50% 15% 20% 15%
Número de UTAs	10.000-15.000 15.000-20.000	50% 25%
Producción agraria	90-250 Mill. de € 250-400 Mill. de € 400-550 Mill. de €	15% 65% 20%

Como resumen, se puede decir que en el Escenario Situación actual, independientemente de la superficie actual que esté en regadío, el acuífero no se recuperaría. Además, como es lógico, los puestos de trabajo y la producción económica sería mayor si hubiera una mayor superficie de cultivos en regadío (Tabla 6.12).

Tabla 6.12. Resumen de los resultados del **Escenario Situación Actual**.

	Escenario Situación Actual	
Superficie en regadío actualmente	260.000 ha	130.000 ha
UTAs	20.000-30.000 UTAs	10.000-20.000 UTAs
Producción bruta	550-700 M €	250-400 M€
Acuífero	No se recupera (100%)	No se recupera (85%)

6.4.2 Escenario de "Aplicación completa del PEAG en 2015"

Este escenario supone que en el año 2015 se han ejecutado de manera completa las medidas del PEAG, para evaluar cómo respondería el sistema a la nueva situación. En este caso se han mantenido todas las variables con el mismo valor que en el escenario anterior (Situación Actual), excepto las variables que representan las 5 medidas del PEAG consideradas en la red. Éstas medidas son: el "Plan de Forestación"; la "Compra de derechos de agua"; el aumento en la capacidad para controlar las extracciones de agua del acuífero, tanto las extracciones en terrenos sin derechos de riego, como las extracciones por encima del Régimen Anual de Extracciones; y por último las medidas de "Modernización de regadíos". Los nuevos valores de dichas variables en este escenario se pueden consultar en la Tabla 6.13.

Tabla 6.13. Estados que se han asignado a las "variables de entrada" de la red bayesiana, en el **Escenario Aplicación completa del PEAG**. Se destacan en cursiva las variables que han cambiado su valor con respecto a la tabla 6.9.

	Acción o condición	Estado
1	**Plan de forestación**	***75.000-85.000 ha compradas***
2	**Compra de derechos de agua**	***50.000-60.000 ha compradas***
3	**Capacidad para cerrar pozos ilegales**	***Total (Se controla el 90% de las tierras sin aval)***
4	**Capacidad de aplicar RAE (Régimen Anual de Extracciones)**	***100% respeta el Régimen Anual de Extracciones***
5	**Modernización de regadíos**	***Mejora de Tecnología (la eficiencia aumenta del 78% al 88%.***
6	Plan de reconversión del viñedo	0 ha afectadas
7	Escenarios de mercado y políticas agrarias	Actual (2005)
8	Cambio climático	Sin consecuencias medibles
9	Trasvase Tajo- Guadiana	Sin trasvase
10	Lluvias anual y de primavera	Año medio y primavera media
11	Precios de los productos agrícolas*	Precios medios (1995-2004)

Aplicando dichos valores los resultados de la red bayesiana cambian notablemente con respecto al escenario anterior. Para una superficie de regadíos inicial (actual) de 260.000 ha, una vez aplicado el PEAG con un éxito rotundo de todas sus medidas, lo más probable sería que el nivel piezométrico subiera (65%). De todas formas lo haría muy lentamente, por lo que la recuperación del acuífero no se produciría antes del año 2027 (sólo un 35% de probabilidades) aunque es probable que lo hiciese en el largo plazo (55%). De igual manera, según los datos introducidos, estas medidas supondrían una reducción en el número de UTAs de la región, y también de la producción económica agraria, que se situaría entre 200 y 350 millones de euros (Tabla 6.14).

Para una superficie de regadíos actual de 130.000 ha, los resultados de una aplicación exitosa del PEAG serían más positivos en cuanto a la recuperación del acuífero. En este caso habría más probabilidades de alcanzar el objetivo marcado por la DMA, aunque seguiría sin asegurarse: 40% de probabilidades de que se recuperara en el año 2027, y en un plazo más largo se recuperaría con un 65% de probabilidad. Sin embargo, la situación socioeconómica sería menos favorable, pues supondría que la producción bruta agraria se reduciría hasta los 90-200 millones de euros, y el número de agricultores a menos de 5.000 (Tabla 6.14).

La probabilidad de recuperar el acuífero no aumenta mucho partiendo de 130.000 en lugar de 260.000, porque como se supone que el PEAG tendrá éxito, la red bayesiana calcula que habrá una gran reducción de la superficie regada partiendo de las 260.000 ha.

Tabla 6.14. Resultados de las principales "variables objetivo" de la red bayesiana en el **Escenario "Aplicación completa del PEAG en 2015**", contando con una superficie aproximada de regadío actual de 260.000 ha o de 130.000 ha.

Variable	Posibles estados	Probabilidad de que ocurra	
		260.000 ha	130.000 ha
Superficie final regable	0-50.000 ha 50.000-75.000 ha	0% 45%	100% 0%
Extracciones agrícolas	0-150 hm^3 150-200 hm^3 200-250 hm^3	45% 25% 20%	88% 12% 0%
Variación del nivel piezométrico	-2/-0,2 m/año -0,2/ +0,2 m/año +0,2 / +1,3 m/año +1,3 / +5,4 m/año	25% 10% 25% 40%	10% 10% 30% 45%
Años hasta recuperación de humedales	Nunca Nunca (el nivel se mantiene) Entre 26 y 40 años Antes de 2027	25% 20% 20% 35%	10% 25% 25% 40%
Número de UTAs	0-5.000 5.000-10.000 10.000-15.000 15.000-20.000	30% 50% 15% 5%	65% 30% 5% 0%
Producción agraria	0-90 Mill. de € 90-250 Mill. de € 250-400 Mill. de € 400-550 Mill. de €	0% 40% 50% 10%	5% 80% 15% 0%

Por tanto, en el escenario en el que el PEAG se ejecutar tal y como está planeado, lo más probable (75%) sería que el nivel del acuífero subiera, aunque su recuperación antes del año 2015 sería mucho menos probable (Tabla 6.15). Por lo tanto, la recuperación del acuífero antes de 2027 no estaría asegurada aún aplicando de manera efectiva estas las cinco medidas evaluadas.

Tabla 6.15. Resumen de los resultados del **Escenario Aplicación Completa del PEAG** en 2015.

Escenario Aplicación completa del PEAG en 2015.		
Superficie en regadío actualmente	260.000 ha	130.000 ha
UTAs	5.000-10.000 UTAs	0-10.000 UTAs
Producción bruta	200-350 M €	90-250 M€
Acuífero	35% recuperarse antes de 2027	40% Recuperarse antes de 2027

6.4.3 Escenario de "Aplicación más probable del PEAG en 2015" según las partes interesadas

En este caso los estados y probabilidades introducidos para representar el nivel de aplicación del PEAG en el año 2015, corresponden a las previsiones que han hecho las partes interesadas durante el proceso de participación explicado en el Capítulo 4 "El proceso de participación con los grupos de interés". Por tanto, estos son los resultados más probables de la situación del acuífero en el año 2015, según la opinión de las partes interesadas. Los valores más probables de dichas variables se pueden consultar

en la Tabla 6.16. En este caso se cambia las probabilidades de todas las variables, incluso las que representan las 5 medidas del PEAG consideradas en la red.

Las tablas de probabilidad condicional construidas con las opiniones de las partes interesadas tienen una gran importancia en estos resultados, ya que podrían cambiar significativamente con unas opiniones distintas. En la Tabla 6.16 se muestran las variables de entrada, los posibles estados que pueden tomar, y las probabilidades que los grupos de interés decidieron a través del proceso de participación. Ciertas variables, como por ejemplo las lluvias, toman los valores más probables obtenidos a través de las estadísticas.

Tabla 6.16. Estados que se han asignado a las "variables de entrada" en el **Escenario "Aplicación más probable del PEAG en 2015**".

	Variable	Estado		Probabilidad
1	Plan de forestación (Superficie afectada,ha)	45.000-75.000 ha		20%
		35.000-45.000 ha		30%
		25.000-35.000 ha		40%
2	Compra de derechos de agua (Superficie afectada, ha)	30.000-40.000 ha		10%
		20.000-30.000 ha		30%
		1-20.000 ha		30%
		0-1 ha		30%
3	Capacidad para cerrar pozos ilegales	Mayor	x 0,9-0,625	30%
		Bastante Mayor	x 0,325-0,625	40%
		Mucho Mayor	x 0,12-0,325	30%
4	Capacidad de aplicar RAE (Régimen Anual de Extracciones)	Capacidad igual a la actual		50%
		Máximo: 70.000-110.000 ha		49%
5	Modernización de regadíos	Los regadíos se modernizan (88%)		60%
		Los regadíos se mantienen correctamente 78%		30%
		Los regadíos se deterioran (68%)		10%
6	Plan de reconversión del viñedo	Medio (15.000-25.000)		20%
		Mínimo (5.000-15.000)		50%
		Nada (50-5.000)		25%
7	Escenarios de mercado y políticas agrarias	Los cuatro escenarios la misma probabilidad		
8	Cambio climático	Los tres escenarios con la misma probabilidad		
9	Trasvase Tajo- Guadiana	15-30 hm^3		70%
10	Lluvias anual y de primavera	Año húmedo		30%
		Año medio		40%
		Año seco		30%
11	Superficie actual con derechos de riego*	200.000-215.000		30%
		170.000-180.000		40%
		90.000-110.000		30%
12	Superficie actual sin derechos*	80.000-90.000 ha		40%
		45.000-60.000 ha		30%
		35.000-45.000 ha		30%
13	Necesidades de riego de cada cultivo	Las distintas necesidades con la misma probabilidad		
14	Precios de los productos agrícolas	Los tres precios con la misma probabilidad		

Aplicando dichos valores a una superficie inicial de 260.000 ha, una vez aplicado el PEAG, lo más probable (65%) sería que el nivel piezométrico descendiera, siendo poco probable una recuperación antes de 2027 (10%). De igual manera, según los datos introducidos, estas medidas supondrían una reducción en el número de UTAs de la

región a entre 10.000 y 15.000 y también de la producción económica agraria, que se situaría entre 300 y 500 millones de euros (Tabla 6.17).

El resultado de este escenario con una superficie inicial de 130.000 ha sería incierto, pues si bien la probabilidad de que el acuífero descendiera es del 55%, la probabilidad de recuperarse a largo plazo sería del 45%. Por tanto, habría una alta probabilidad de que se mantuviera estable sin apenas variar. El número de trabajadores agrícolas bajaría hasta la horquilla de los 5.000-10.000, y la producción agraria se situaría entre 150 y 350 millones de euros (Tabla 6.17).

Tabla 6.17. Resultados de las principales "variables objetivo" de la red bayesiana en el **Escenario "Aplicación más probable del PEAG en 2015**", contando con una superficie aproximada de regadío actual de 260.000 ha o de 130.000 ha.

Variable	Posibles estados	Probabilidad de que ocurra	
		260.000 ha	130.000 ha
Superficie final regable	50.000-75.000	0%	30%
	110-150.000 ha	25%	0%
Extracciones agrícolas	0-150	0%	25%
	150-250	0%	30%
	200-300 hm^3	20%	25%
	300-400 hm^3	25%	10%
	400-600 hm^3	30%	0%
Variación del nivel piezométrico	<-0,2 m/año	65%	40%
	-0,2/ +0,2 m/año	5%	10%
	+0,2 / +1,3 m/año	15%	20%
	+1,3 / +5,4 m/año	15%	30%
Años hasta recuperación de humedales	Nunca	65%	40%
	Nunca (el nivel se mantiene)	10%	15%
	Entre 12 y 40 años	10%	20%
	Antes de 2027	10%	25%
Número de UTAs	0-5.000		20%
	5.000-10.000	20%	40%
	10.000-15.000	30%	30%
	15.000-30.000	40%	10%
Producción agraria	90-250 Mill. €	15%	45%
	250-400 Mill. de €	40%	45%
	400-550 Mill. de €	30%	10%
	550-700 Mill. de €	15%	0%

El resultado de este escenario es que el acuífero comenzaría a recuperarse pero a una velocidad muy lenta. El número de trabajadores agrícolas bajaría hasta la horquilla de los 5.000-10.000 agricultores, y la producción agraria se situaría entre 200 y 300 millones de euros (Tabla 6.18).

Tabla 6.18. Resumen de los resultados del **Escenario Aplicación más probable del PEAG en 2015.**

Superficie en regadío actualmente	260.000 ha	130.000 ha
UTAs	10.000-15.000 UTAs	5.000-15.000 UTAs
Producción bruta	300-500 M €	200-300 M€
Acuífero	10% prob recuperarse antes de 2027	25% prob recuperarse antes de 2027

6.4.4 Escenarios de las primeras 5 reuniones del proyecto NeWater, aplicados a la red bayesiana

Las primeras 5 reuniones realizadas por el proyecto NeWater, durante los años 2005 y 2006, con los grupos de interés sobre la gestión del agua en la cuenca alta del Guadiana, sirvieron para construir cinco escenarios sobre la posible evolución futura del sistema del acuífero de la Mancha Occidental. Dichas reuniones no tenían como objetivo la construcción de la presente red bayesiana. Sin embargo se ha considerado interesante evaluarlos utilizándola.

Cada uno de dichos escenarios es una combinación de las diferentes circunstancias y acciones que pueden ocurrir en el futuro. Martínez Santos (2007) tradujo dichos escenarios para introducirlos en un modelo de flujo del acuífero y evaluar su posible evolución (Tabla 6.19).

Tabla 6.19. Escenarios construidos durante los dos primeros años del proyecto NeWater. Fuente: Martínez Santos, 2007.

Hip.	***Reformas PAC / Aplicación PEAG***	***Trasvase Tajo-Segura***	***Cambio Climático***	***Reforma Ley de Aguas***	***Modificación balance hidrológico (*)***
F+	- Compatibilidad entre PAC y PEAG. - Reconversión de la superficie de regadío. - Respeto a las dotaciones del PEAG. - Compra de derechos por valor de 200Mm^3.	- Reasignación de 160Mm^3/año del trasvase al alto Guadiana (abastecimiento, PNTD y sustitución de bombeos). - No se pone nueva superficie en regadío. - Se evita indirectamente la recuperación de costes de la DMA en lo referente a riego.	- El cambio climático no se manifiesta durante el período de simulación. - Secuencia de precipitación húmeda.	- La reforma es eficaz en lo referente a las captaciones ilegales.	**Bombeos totales = 0Mm^3/año** **Recarga media por lluvia = 328Mm^3/año**
F	- Compatibilidad entre PAC y PEAG. - Reconversión de la superficie de regadío. - No se respetan las dotaciones del PEAG; se aplican las dotaciones SIAR. - Se consigue la compra de derechos por valor de 100Mm3.	- Reasignación de 160Mm3/año del trasvase al alto Guadiana (abastecimiento, PNTD y sustitución de bombeos). - No se pone nueva superficie en regadío. - Se evita indirectamente la recuperación de costes de la DMA en lo referente a riego.	- El cambio climático no se manifiesta durante el período de simulación. - Secuencia de precipitación media.	- La reforma es eficaz en lo referente a las captaciones ilegales. - No se consigue el control real de las extracciones, y por tanto no se respetan las dotaciones del PEAG.	**Bombeos totales = 100Mm^3/año** **Recarga media por lluvia = 265Mm^3/año**
I	- Compatibilidad entre PAC y PEAG. - Reconversión de la superficie de regadío. - No se respetan las dotaciones del PEAG; se aplican las dotaciones SIAR. - El bombeo por encima de las dotaciones previstas se ve compensado por la compra de derechos.	- Reasignación del trasvase sólo para abastecimientos. - No se pone nueva superficie en regadío.	- El cambio climático no se manifiesta durante el período de simulación. - Secuencia de precipitación media.	- La reforma es ineficaz en lo referente a las captaciones ilegales. - No se consigue el control real de las extracciones, y por tanto no se respetan las dotaciones del PEAG.	**Bombeos totales = 200Mm3/año** **Recarga media por lluvia = 265Mm3/año**
DF	- Compatibilidad entre PAC y PEAG. - No se consigue la reconversión de la superficie de regadío, se mantiene la actual. - No se respetan las dotaciones del PEAG; se aplican las dotaciones SIAR. - La compra de derechos es limitada y se ve anulada por las extracciones ilegales.	- Reasignación del trasvase sólo para abastecimientos. - No se pone nueva superficie en regadío.	- El cambio climático se manifiesta levemente durante el período de simulación. - Reducción del 5% en la precipitación media a partir de 2030.	- La reforma es ineficaz en lo referente a las captaciones ilegales. - No se consigue el control real de las extracciones, y por tanto no se respetan las dotaciones del PEAG.	**Bombeos totales = 350Mm^3/año** **Recarga media por lluvia = 233Mm^3/año**
DF+	- PAC y PEAG resultan incompatibles. - No se consigue la reconversión de la superficie de regadío, crecen los cultivos hortícolas a expensas de la viña. - No se respetan las dotaciones del PEAG; se aplican las dotaciones SIAR. - La compra de derechos es limitada y se ve anulada por las extracciones ilegales.	- Reasignación del trasvase para abastecimientos, PNTD y riego. - Crece la superficie en regadío debido a los nuevos caudales disponibles.	- El cambio climático se manifiesta fuertemente durante el período de simulación. - Reducción del 15% en la precipitación media a partir de 2030.	- La reforma es ineficaz en lo referente a las captaciones ilegales. - No se consigue el control real de las extracciones, y por tanto no se respetan las dotaciones del PEAG.	**Bombeos totales = 500Mm^3/año** **Recarga media por lluvia = 155Mm^3/año**

En el presente trabajo se han traducido dichos escenarios para evaluarlos con la red bayesiana. Los estados y probabilidades que se han introducido en la red bayesiana para representar dichos escenarios se presentan en la Tabla 6.20.

Tabla 6.20. Estados de las variables de la red bayesiana para simular los Escenarios de las primeras 5 reuniones de NeWater.

	Reformas PAC/aplicación PEAG	**Trasvase Tajo-Segura**	**Cambio Climático**	**Reforma Ley de Aguas**
F+	Escenario agrícola B "Vino de mayor calidad" Respeto del RAE Compra de 200 hm^3 (45.000 - 75.000has forestación + 50.000-60.000 compra de derechos)	+160 hm^3 en la recarga (Rec. Renovables = 425-680 hm^3)	Sin consecuencias medibles Precipitación alta	Capacidad para cerrar pozos ilegales: casi total
F	Escenario agrícola B "Vino de mayor calidad" No se respeta el RAE Compra de 100 hm^3 (25.000 - 35.000has forestación + 30.000-40.000 compra de derechos)	+160 hm^3 en la recarga (Rec. Renovables = 305-425 hm^3)	Sin consecuencias medibles Precipitación media	Capacidad para cerrar pozos ilegales: Muy alta
I	Escenario agrícola B "Vino de mayor calidad" No se respeta el RAE Compra de pocos hm^3 (1-15.000 has forestación + 1-20.000 compra de derechos)	Trasvase 15-30 hm^3	Sin consecuencias medibles Precipitación media	Capacidad para cerrar pozos ilegales: baja
DF	Escenario agrícola A "Situación actual" No se respeta el RAE Se compran muy pocos derechos de riego (0)	Trasvase 15-30 hm^3	Moderado Precipitación media	Capacidad para cerrar pozos ilegales: actual
DF+	Escenario agrícola C o D "Biofules" o "Mayor rentabilidad" No se respeta el RAE Se compran muy pocos derechos de riego (0)	Trasvase 15-30 hm^3 Nuevos regadíos ilegales (Programa de reconversión de viñedo= 15.000-25.000)	Severo Precipitación media	Capacidad para cerrar pozos ilegales: actual

A continuación se comparan los resultados de dicho trabajo con los de esta red bayesiana, teniendo en cuenta una superficie inicial en regadío de 130.000 ha, que es la superficie que utilizó Pedro Martínez Santos en su tesis, y también con una superficie mayor, intermedia entre esa y la máxima de 260.000 ha. Los resultados coinciden mucho mejor cuando se tiene en cuenta la superficie de 130.000 ha, lo que quiere decir que efectivamente hay correspondencia entre los resultados de ambos estudios (Tablas 6.21 y 6.22).

Teniendo en cuenta las 130.000, además de parecerse los resultados, la red bayesiana permite evaluar la situación socioeconómica resultante de cada escenario. En todos ellos, los resultados hidrológicos son muy parecidos a los del modelo hidrológico, siendo más parecidos los resultados de los escenarios extremos, y más dispares los de los escenarios intermedios.

En los escenarios más favorables para la recuperación del acuífero (F+ y F), ésta está prácticamente asegurada por la efectividad de todas las acciones del PEAG, porque, también incorpora un trasvase desde el Tajo de 160 hm^3, y por último, porque además estima una secuencia de años húmedos (muy lluviosos). Bajo esas condiciones

tan favorables las probabilidades de recuperar el acuífero antes del año 2027 son muy altas.

Pero tal y como muestra la red bayesiana, los empleos agrarios bajarían hasta ser menos de 5.000 y los ingresos estarían entre 90 y 250 millones de euros (Tabla 6.21), que son los menores valores de esta variable.

En cambio los escenarios desfavorables (DF y DF+) mantendrían entre 15.000 y 20.000 empleos, además de unos ingresos entre 400 y 550 millones, a costa de seguir extrayendo agua a una velocidad mayor de la recarga del acuífero (Tabla 6.21).

Por otra parte, el escenario intermedio tampoco aseguraría la recuperación del acuífero, pero en cambio, ni los empleos ni los ingresos se verían gravemente afectados.

Tabla 6.21. Resultados de la red bayesiana simulando los Escenarios construidos en las primeras 5 reuniones de NeWater, considerando una superficie actual de regadíos cercana a las 130.000 ha.

Variable	Posibles estados	Probabilidad de que ocurra				
		F+	F	I	DF	DF+
Superficie final regable	0-50.000	100%	30%	0%	0%	0%
	50.000-75.000 ha	0%	50%	5%	0%	0%
	75.000-90.000 ha	0%	15%	10%	0%	0%
	90.000-110.000 ha	0%	5%	35%	15%	0%
	110.000-150.000 ha	0%	0%	45%0	70%	35%
	150.000-175.000 ha	0%	0%	%	15%	50%
Extracciones agrícolas	0-150 hm^3	85%	35%	0%	0%	0%
	150-200 hm^3	15%	20%	5%	0%	0%
	200-250 hm^3	0%	25%	5%	0%	0%
	250-300 hm^3	0%	15%	15%	5%	0%
	300-400 hm^3	0%	5%	40%	40%	10%
	400-500 hm^3	0%	0%	25%	40%	25%
	500-600 hm^3	0%	0%	5%	15%0	30%
	600-700 hm^3	0%	0%	0%	%	25%
Variación del nivel piezométrico	<-0,2 m/año	0%	0%	55%	70%	85%
	-0,2/ +0,2 m/año	0%	5%	10%	10%	5%
	+0,2 / +1,3 m/año	0%	40%	20%	15%	5%
	+1,3 / +5,4 m/año	100%	55%	15%	10%	0%
Años hasta recuperación de humedales	Nunca	0%	0%	55%	70%	85%
	Nunca(el nivel se mantiene)	0%	15%	20%	15%	10%
	Entre 12 y 40 años	0%	45%	15%	10%	5%
	Antes de 2027	97%	35%	10%	5%	0%
Número de UTAs	0-5.000	55%	20%	0%	0%	0%
	5.000-10.000	35%	45%	10%	10%	5%
	10.000-15.000	5%	25%	35%	50%	25%
	15.000-20.000	0%	5%	35%	25%	40%
	20.000-30.000	0%	0%	15%	10%	30%
Producción agraria	90-250 Mill. de €	75%	45%	20%	15%	5%
	250-400 Mill. de €	20%	45%	50%	55%	45%
	400-550 Mill. De €	0%	5%	25%	25%	35%
	550-700 Mill. De €	0%	0%	5%	5%	15%

Tabla 6.22. Resultados de la red bayesiana simulando los Escenarios construidos en las primeras 5 reuniones de NeWater, considerando la superficie actual de regadíos más probable según los grupos de interés (entre 130.000 y 260.000 ha).

Variable	Posibles estados	Probabilidad de que ocurra				
		F+	F	I	DF	DF+
Superficie final regable	0-50.000	45%	15%	0%	0%	0%
	50.000-75.000 ha	30%	15%	0%	0%	0%
	75.000-90.000 ha	25%	5%	0%	0%	0%
	90.000-110.000 ha	0%	5%	5%	5%	0%
	110.000-150.000 ha	0%	40%	20%	15%	5%
	150.000-175.000 ha	0%	20%	10%	10%	10%
	175.000-205.000 ha	0%	0%	20%	20%	10%
	205.000-240.000 ha	0%	0%	30%	25%	25%
	240.000-270.000 ha	0%	0%	10%	25%	45%
Extracciones agrícolas	0-150 hm^3	45%	15%	0%	0%	0%
	150-200 hm^3	20%	5%	0%	0%	0%
	200-250 hm^3	20%	5%	0%	0%	0%
	250-300 hm^3	10%	5%	5%	0%	0%
	300-400 hm^3	0%	20%	10%	10%	0%
	400-500 hm^3	0%	25%	15%	10%	5%
	500-600 hm^3	0%	15%	15%	15%	10%
	600-700 hm^3	0%	5%	20%	15%	15%
	>700 hm^3	0%	0%	30%	40%	70%
Variación del nivel piezométrico	<-0,2 m/año	0%	15%	85%	90%	95%
	-0,2/ +0,2 m/año	0%	10%	5%	5%	5%
	+0,2 / +1,3 m/año	5%	25%	5%	5%	0%
	+1,3 / +5,4 m/año	90%	50%	5%	0%	0%
Años hasta recuperación de humedales	Nunca	0%	15%	85%	90%	95%
	Nunca (el nivel se mantiene)	0%	15%	5%	5%	5%
	Entre 12 y 40 años	10%	25%	5%	5%	0%
	Antes de 2027	90%	40%	0%	0%	0%
Número de UTAs	0-5.000	25%	10%	0%	0%	0%
	5.000-10.000	40%	15%	5%	5%	0%
	10.000-15.000	25%	15%	10%	15%	5%
	15.000-20.000	10%	30%	15%	20%	15%
	20.000-30.000	0%	25%	40%	40%	45%
	30.000-40.000	0%	5%	25%	15%	25%
Producción agraria	90-250 Mill. de €	40%	15%	5%	5%	0%
	250-400 Mill. de €	45%	35%	20%	25%	15%
	400-550 Mill. De €	15%	30%	30%	30%	30%
	550-700 Mill. De €	0%	15%	20%	20%	25%
	700-990 Mill. De €	0%	5%	15%	10%	20%

Para interpretar estos resultados hay que tener en cuenta que las condiciones ambientales para cada uno de los cinco escenarios son muy diferentes, tienen gran repercusión, y no son controlables. Es decir, que si hay suerte y hay una secuencia de años húmedos, el acuífero se podría recuperar mucho más pronto, pero si la secuencia es de años secos, la recuperación sería mucho más difícil. En este sentido, con unas condiciones normales, en las que se suceden años húmedos y secos, la recuperación del acuífero será más difícil de lo que sería deseable por todos.

Finalmente se han comparado los resultados obtenidos por Martínez Santos *et al.* (2008-a) y por la red bayesiana, y se presentan en la Tabla 6.23.

Tabla 6.23. Comparación de los resultados de la red bayesiana y los de Martínez Santos *et al.* (2008-a).

Esc.	*Resultados de Martínez Santos et al. (2008-a)*	*Resultados de la red bayesiana considerando 130.000 ha*	*Resultados de la red bayesiana considerando la superficie de regadíos más probable actualmente*
F+	**Bombeos totales = 0hm^3/año**	0-150 hm^3: 85% 150-200 hm^3: 15%	0-150 hm^3: 45% 150-200 hm^3: 20% 200-250 hm^3: 20%
	Recuperación prácticamente total del acuífero para algo después del año 2027	Nunca: 0% Nunca (se mantiene): 0% Entre 2027 y 2055: 0% Antes de 2027: 97%	Nunca: 0% Nunca (se mantiene): 0% Entre 2027 y 2055: 10% Antes de 2027: 90%
F	**Bombeos totales = 100 hm^3/año**	0-150 hm^3: 35% 150-200 hm^3: 20% 200-250 hm^3: 25%	300-400 hm^3: 20% 400-500 hm^3 25% 500-600 hm^3: 15%
	No consiguiéndose la misma en ninguno de los puntos de control antes de 2040	Nunca: 0% Nunca (se mantiene): 15% Entre 2027 y 2055: 45% Antes de 2027: 35%	Nunca: 15% Nunca (se mantiene): 15% Entre 2027 y 2055: 25% Antes de 2027: 40%
I	**Bombeos totales = 200 hm^3/año**	250-300 hm^3: 15% 300-400 hm^3: 40% 400-500 hm^3: 25%	500-600 hm^3: 15% 600-700 hm^3: 20% >700 hm^3: 30%
	No alcanza la recuperación total en ninguno de los piezómetros dentro del intervalo de tiempo considerado	Nunca: 55% Nunca (se mantiene): 20% Entre 2027 y 2055: 15% Antes de 2027: 10%	Nunca: 85% Nunca (se mantiene): 5% Entre 2027 y 2055: 5% Antes de 2027: 0%
DF	**Bombeos totales = 350 hm^3/año**	300-400 hm^3: 40% 400-500 hm^3: 40% 500-700 hm^3: 15%	500-600 hm^3: 15% 600-700 hm^3: 15% >700 hm^3: 40%
	Se obtiene un descenso medio de 0.5m/año dentro del período 2005-2055	Nunca: 70% Nunca (se mantiene): 15% Entre 2027 y 2055: 10% Antes de 2027: 5%	Nunca: 90% Nunca (se mantiene): 5% Entre 2027 y 2055: 5% Antes de 2027: 0%
DF+	**Bombeos totales = 500 hm^3/año**	400-500 hm^3: 25% 500-600 hm^3: 30% 600-700 hm^3: 25%	500-600 hm^3: 10% 600-700 hm^3: 15% >700 hm^3: 70%
	El sistema alcanza el colapso hacia el año 2030	Nunca: 85% Nunca (se mantiene): 10% Entre 2027 y 2055: 5% Antes de 2027: 0%	Nunca: 95% Nunca (se mantiene): 5% Entre 2027 y 2055: 0% Antes de 2027: 0%

6.4.5 Otros escenarios posibles

Por último se han construido dos escenarios con otras posibles aplicaciones futuras del PEAG para evaluar sus consecuencias (Tabla 6.24):

> Escenario A. Escenario en el que finalmente la compra de derechos de riego es menor de lo esperado, las mejoras de riego no tienen éxito, y no hay reconversión agrícola. Los resultados de esta simulación demuestran que una aplicación poco exitosa del PEAG no permitiría recuperar el acuífero.

Escenario B. Escenario en el que se compran un número elevado de derechos de riego, aunque menos del total posible, en el que las mejoras en la tecnología de riego si consiguen aumentar la eficiencia, y en el que hay una reconversión agrícola a un escenario de mayor calidad de vino. En este caso, la recuperación sería más probable, aunque seguiría siendo más probable que no llegara a recuperarse.

Tabla 6.24. Tabla en la que se presentan los valores introducidos para simular otros escenarios posibles, y los resultados que produce en las "Variables Objetivo".

	Escenario A	**Escenario B**
	Compra de derechos de riego menor de lo esperado, las mejoras de riego no tienen éxito, y no hay reconversión agrícola	Se compran un número elevado de derechos de riego, las mejoras en la tecnología de riego aumentan la eficiencia, y hay reconversión agrícola al escenario B
Trasvase	Situación más probable	Situación más probable
Cambio Climático	Situación más probable	Situación más probable
Precipitaciones	Condiciones más probables	Condiciones más probables
Riego	Actual	Mayor eficiencia
Escenarios	Actual	Vino de mayor calidad (B)
Plan de Forestación	15.000-25.000 ha	45.000-75.000 ha
Compra de derechos	20.000-30.000 ha	40.000-50.000 ha
Superficie inicial con derechos	La más probable	La más probable
Capacidad de hacer cumplir el RAE	Aumenta el control	Aumenta el control
Plan de reconversión del viñedo	Situación más probable	Situación más probable
Superficie inicial sin derechos	La más probable	La más probable
Capacidad de cerrar pozos ilegales	Aumenta (0,325%-0,625%)	Aumenta (0,325%-0,625%)
Precio de los productos agrarios	Situación más probable	Situación más probable
Probabilidades finales		
Superficie final regable	25% 110.000-150.000 ha	20% 75.000-90.000
Extracciones agrícolas finales	25% 300-400 hm^3	40% 150-200 15% 200-250 40% 250-300
Años hasta que se recupere el acuífero	10% Antes de 2027 10% entre 12 y 40 años 80% nunca	20% Menos de 12 años 20% entre 12 y 40 años 60% nunca
Ingresos (en M€)	15% entre 90-250 45% entre 250-400 25% entre 400-550	30% entre 90-250 40% entre 250-400 20% entre 400-550
Nº de empleos agrarios	25% entre 5.000-10.000 30% entre 10.000-15.000 25% entre 15.000-20.000	25% entre 5.000-10.000 30% entre 10.000-15.000

Como conclusión a este apartado se puede decir que será difícil que el acuífero se recupere antes del año 2027. Todos estos escenarios simulan diferentes formas de aplicar el PEAG, aunque no el ritmo o la velocidad de aplicarlo. Esto, sin duda, influirá en la velocidad y en los años que tardará el acuífero en recuperarse. Para ello, es

necesario adaptar la red bayesiana para hacerla dinámica y poder evaluar cambios en el tiempo. Esto se hace en el siguiente capítulo.

6.5 CONSIDERACIÓN DE LAS VARIABLES QUE PARECEN TENER MÁS INFLUENCIA

A continuación se hacen una serie de análisis dirigidos a las variables que parcern tener más influencia sobre las tres variables objetivo, es decir, sobre la recuperación del acuífero, sobre el número de agricultores y sobre la producción económica agrícola.

6.5.1 Superficie máxima de regadío que permitiría recuperar el acuífero antes de 2027

Con unos recursos renovables medios-altos (305-425hm^3/año), unas necesidades de riego medias-bajas (2.500-2.700 m^3/ha) y una tecnología de riego como la actual (78% de eficiencia), la mayor superficie posible de regadío que puede haber para que se recupere el acuífero antes de 2027 es entre 75.000 ha y 90.000 ha. Dichos recursos renovables son altos, y las necesidades de riego bajas, por lo que la única variable que puede cambiar sería la tecnología de riego. Pues bien, con una tecnología más eficiente (88%, próximo al máximo teórico), la mayor superficie posible de regadío podría llegar a ser entre 90.000 ha y 110.000 ha. Éstas son las superficies que puede haber como máximo para recuperar el acuífero en el año 2027. Sin embargo, incluso en las condiciones definidas anteriormente y con dichas superficies, seguiría siendo muy improbable que ocurriera (con un 98% no se recuperaría antes de el año 2027).

Con más de 60.000 ha, sólo es posible asegurar (más de 50% de probabilidades) la recuperación del acuífero antes del año 2027, en las siguientes condiciones:

- Una larga sucesión de años muy húmedos ó

- Un trasvase de un volumen como mínimo de 160 hm^3/año.

Sin esas condiciones, con las condiciones climáticas normales (sucesión de años secos, medios y húmedos), la superficie máxima que se podría mantener en regadío en el acuífero de la Mancha Occidental para recuperar sus niveles antes de 2027, es 60.000 ha.

De todas formas, contando con que existen entre 50.000ha y 75.000 ha en regadío, el acuífero tendría una probabilidad de recuperarse a largo plazo del 52%, y algo menos antes del año 2027 (30%). Si se regaran entre 75.000 y 90.000 ha, lo más probable (60%) sería que no suban los niveles del acuífero. Es necesario recordar que en todos estos supuestos se ha tenido en cuenta unas necesidades de riego consideradas más bajas que las actuales, por lo que se puede concluir que las hipótesis de recuperación requieren un descenso acentuado de la superficie actualmente regada.

La única forma de conseguir recuperar el acuífero con las medidas contempladas en esta red bayesiana, es reducir la superficie regada a una horquilla de entre 50.000 y

75.000 ha. Con una superficie de entre 75.000 y 90.000 ha, las probabilidades de que el acuífero no se recupere serían de un 65%.

De todas formas, aún reduciendo la superficie agrícola a entre 50.000 y 75.000 ha, las probabilidades de recuperar el acuífero antes del año 2027 serían de un 30%, y con una superficie de entre 75.000 y 90.000 ha bajaría hasta un 20%. Esto significa que la recuperación sería posible pero en un plazo mayor al requerido por la DMA.

6.5.2 Superficie de regadío inicial

Como se ha explicado en distintas partes de este capítulo, esta variable determina el funcionamiento del sistema, y la gran diferencia entre sus posibles estados determinará las posibilidades de recuperación del acuífero. A continuación se plantean diferentes consideraciones que hay que tener en cuenta en la gestión del agua del acuífero de la Mancha Occidental, y que son difieren en función de la extensión de regadíos que haya realmente.

A. Partiendo de un escenario en el que realmente se estén regando 260.000 ha.

Con 260.000 ha, sólo la "Compra de derechos de riego" y el "Plan de forestación" de tierras con derechos de riego, sería insuficiente para recuperar el acuífero: con un 80% de probabilidades no se recuperaría nunca. Si además de esas dos políticas se cerraran todos los regadíos sin derechos y se respetara el RAE, las probabilidades de recuperación del acuífero antes del año 2027 aumentarían considerablemente hasta un 30% y las probabilidades de que no se recuperara, bajarían hasta un 50%. Además, los empleos e ingresos agrarios se reducirían mucho. La aplicación de otra política adicional, tal como la mejora de la eficiencia del riego, tendría un efecto limitado, ya que la recuperación del acuífero sólo aumentaría un 5%. Un cambio en los cultivos de la zona también tendría un efecto muy limitado, a excepción del Escenario extremo E (cero hectáreas de cereal), cuyo efecto sería mayor en las variables de ingresos y empleos agrarios. De todas formas, con un 45% de probabilidades de que no se recupere nunca, la recuperación a largo plazo sería probable (55%) aunque no estaría asegurada la recuperación, y menos antes de año 2027.

La conclusión más importante de este escenario es que si realmente se están regando actualmente 260.000 ha en el acuífero de la Mancha Occidental, un éxito en la aplicación del PEAG tendría un 33% de probabilidades de recuperar el acuífero antes de 2027 (y por tanto sería poco probable), aunque también es verdad que tendría mayores probabilidades de recuperarse a largo plazo que de no recuperarse nunca. Por tanto, aunque no se consiguiese el objetivo marcado por la Directiva Marco del Agua, la recuperación del acuífero sería mucho más probable que sin la aplicación del PEAG.

B. Partiendo del escenario en el que actualmente se estén regando 130.000 ha.

El primer paso es evaluar cada medida por separado, aunque como se expone a continuación ninguna de ellas por separado conseguiría recuperar el acuífero antes del año 2027.

Aplicando sólo la "Compra de derechos de riego" y el "Plan de forestación" de manera total, es decir, afectando a más de 100.000 ha, sería posible recuperar el acuífero con un 40% de probabilidades antes del año 2027, y con un 60% antes del año 2055. Sin embargo, actuando sólo con estas dos medidas, los ingresos agrarios bajarían a ser entre 90 y 250 Millones de euros anuales, y los empleos agrarios menos de 5.000.

En cambio, aplicando sólo las políticas de control de las extracciones ilegales, tanto en tierras sin derechos como en las que se riegan por encima de los límites fijados en el RAE (Régimen Anual de Extracciones), es decir, aplicando sólo las variables "Capacidad para cerrar pozos ilegales" y "Capacidad de aplicar el RAE", las probabilidades de que el acuífero no se recuperase seguirían siendo altas (65%). Una mejora de la eficiencia de riego junto con el Trasvase Tajo-Guadiana para abastecimiento urbano conseguiría rebajar esa probabilidad sólo un 5%.

Por tanto, la compra de derechos de riego se manifiesta como una medida imprescindible para recuperar el acuífero, mientras que las demás medidas también son necesarias para conseguir no ahogar la socioeconomía de la región.

Una aplicación exitosa de todas ellas simultáneamente si aumentaría significativamente las probabilidades de alcanzar el objetivo marcado por la DMA: hasta un 40% antes del año 2027 (y 65% a largo plazo), tal como se ha explicado previamente (Tabla 6.14).

Pero en dicha situación, los empleos e ingresos agrarios serían muy bajos, y un buen estado de estos dos objetivos también es necesario para conseguir un desarrollo sostenible. La forma más eficaz de reducir las extracciones agrícolas es reducir la superficie de regadío, pero esto reduce también mucho los beneficios agrícolas y los empleos. Por tanto, se trata de encontrar la mejor alternativa que consiga reducir las extracciones, reduciendo lo menos posible la superficie regada.

Una medida que funciona claramente en esa dirección es la mejora de la eficiencia de los cultivos. Ésta medida reduce las extracciones agrícolas sin reducir en ningún modo los empleos o ingresos agrarios. Por tanto, esta medida, siempre es aconsejable y se introducirá en los siguientes escenarios.

Otra medida que puede contribuir a mejorar todos los objetivos al mismo tiempo es el cambio de cultivos. Para ello se ha utilizado la variable "Escenarios de mercado y políticas agrarias", como se explica en el siguiente apartado.

6.5.3 Importancia de los tipos de cultivos en regadío en el acuífero de la Mancha Occidental

La variable "Escenarios de mercado y políticas agrarias", además de servir para representar posibles situaciones futuras, sirve para representar cambios en la superficie ocupada por cada tipo de cultivo de regadío en la región. De esta forma, se pueden representar posibles situaciones que la administración podría impulsar con los fondos previstos en el "Programa de modernización y desarrollo agrario" del PEAG (que tienen una inversión prevista de 939 millones de euros hasta el año 2027).

Por ello, a continuación se analiza la variable "Escenarios de mercado y políticas agrarias", para saber cuál de los escenarios favorecería a los objetivos de la red bayesiana. Con el escenario agrícola E, "Menos cereales", se obtiene el mayor número

de trabajadores; con el escenario D, "Más hortícolas", los mayores ingresos agrarios; y con el escenario A, "Actual", las mayores recuperaciones del acuífero. ¿Cuál de los escenarios agrícolas será el que más beneficie a las tres variables objetivo simultáneamente?

Para ello se ha hecho un **Análisis de sensibilidad** y se ha estudiado el impacto de la variable "Escenarios agrícolas" sobre las tres variables objetivo. El resultado se muestra en la figura 6.6.

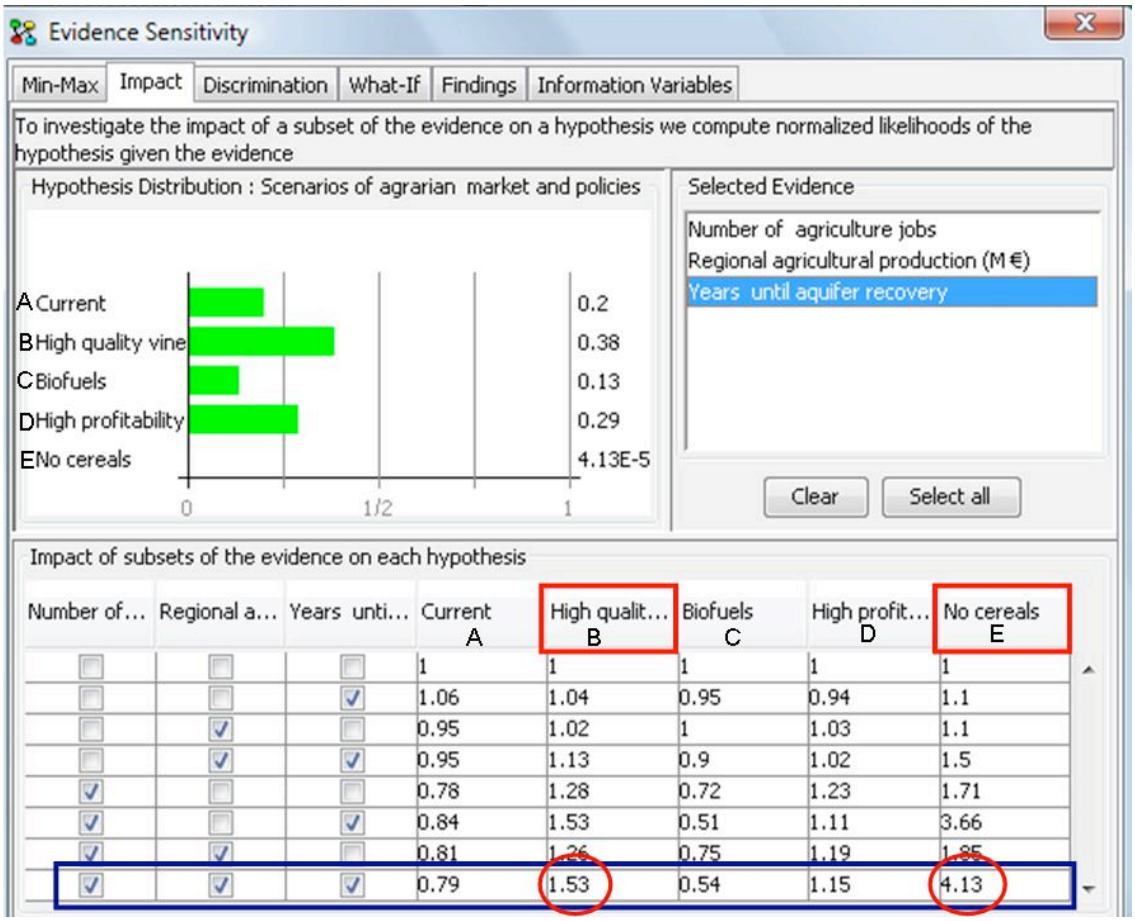


Figura 6.6. Resultado del Análisis de sensibilidad, realizado para conocer cuál de los escenarios agrícolas beneficia simultáneamente más a las tres variables objetico de la red bayesiana.

El resultado indica que el estado que más favorece a las tres variables objetivo es el escenario B "Aumento de la calidad del vino". El escenario E "Sin cereales" es en realidad el más favorable, pero no se ha incluido en las siguientes simulaciones por considerarlo un caso extremo y poco probable. Por tanto, en la búsqueda de escenarios deseables, el estado asignado a la variable "Escenarios agrícolas" será el B, caracterizado por la venta de derechos principalmente de cereales y por la poca venta de derechos de riego en tierras de viñedo, debido a un cambio hacia la producción de vino de calidad.

Estos resultados tienen una coincidencia significativa con los resultados del estudio de la huella hidrológica en la cuenca del río Guadiana (Martínez Aldaya and Llamas, 2008; Martínez Aldaya *et al.*, 2008). En dicho estudio se comprobó que los cultivos con menos huella hidrológica, es decir, los más productivos en dinero por volumen de agua usada, son los hortícolas, y después los leñosos: viñedo y olivo.

Conviene comentar aquí la poca importancia que se suele dar al agua de lluvia que no llega a los ríos ni a los acuíferos, que se queda en el suelo y es aprovechada directamente por la vegetación, y que se ha llamado "agua verde" (Falkenmark, 2003; Rockström *et al.*, 2007). Es el agua que utilizan todos los cultivos de secano, y los ecosistemas naturales. Este agua, obviamente, también es utilizado por los cultivos de regadío, que se diferencian de los de secano porque también utilizan el agua proveniente del riego (llamada "agua azul"). Los leñosos en regadío son los que utilizan más agua verde por hectárea (Aldaya and Llamas, 2008; Aldaya *et al.*, 2008), probablemente gracias a que sus raíces, más desarrolladas que las hortícolas o cereales, son capaces de utilizar más el agua del suelo.

Por lo tanto, el olivar y el viñedo son de los cultivos en regadío más productivos (trabajo y producción económica) por volumen de agua azul (riego), los que son capaces de utilizar más agua verde (lluvia en el suelo), y los que consumen menos volumen de agua por superficie.

La Ecohidrología propone diferenciar entre el agua azul y el agua verde para gestionar de manera integrada los conflictos entre las necesidades de agua para las actividades humanas y para el funcionamiento de los ecosistemas (Montes, 2007). Desde este punto de vista, la mejor opción de cultivo en regadío para el acuífero de la Mancha Occidental serían el viñedo, el olivar, y otros cultivos leñosos como el pistacho.

6.6 POSIBLES ESCENARIOS DESEABLES

Para buscar los escenarios con más ventajas, en los que todos ganen o se pierda lo menos posible, se ha fijado las probabilidades de determinados valores con el fin comprobar sus efectos.

Estos escenarios posibles se han construido asumiendo una superficie actual de regadíos de 130.000 ha. Se ha hecho así porque esta superficie concuerda más con los datos físicos y socioeconómicos actuales. Sin embargo, asumir esta superficie implica que actualmente hay otras 130.000 ha potencialmente regables, pero que actualmente no están en riego. Por otra parte, un escenario que tuviera en cuenta las 260.000 ha como superficie inicial, haría más difícil una recuperación temprana del acuífero pero aseguraría una mayor producción y empleos agrarios actuales.

En este escenario de 130.000 ha se parte de una situación con 10.000-15.000 agricultores y 250-400 Millones de euros de producción agrícola bruta. A continuación se presentan cuatro posibles escenarios que pueden servir para dirigir las actuaciones tanto de las administraciones públicas como de las partes interesadas.

A. Recuperación a largo plazo

En este escenario se asume que el control de la CHG conseguirá impedir que surjan nuevos regadíos ilegales, y que está en funcionamiento el trasvase de 30 hm^3 para abastecimiento urbano.

La mejora de la eficiencia de riego, la reducción de cereales y el mantenimiento de los cultivos hortícolas y viñedos (Escenario agrícola B), un aumento muy importante del control de las extracciones ilegales (aunque no necesariamente total), y la compra de 20.000-30.000 ha de de derechos más la forestación (con la compra de derechos correspondiente) de 25.000-35.000 ha permitiría: un 33% de posibilidades de recuperar el acuífero antes del año 2027, y un 60% de hacerlo a largo plazo; y mantener el trabajo de aproximadamente 8.000 agricultores con una producción bruta de entre 150 y 350 millones de euros.

B. Recuperación a corto plazo.

Un escenario similar, pero con una mayor compra de derechos de riego (65.000-85.000 ha en total) aumentaría las probabilidades de recuperar el acuífero antes del año 2027 hasta un 37% y hasta un 65 en el largo plazo. Por el contrario, los empleos bajarían hasta cerca de 6.000 agricultores, y los ingresos agrarios hasta menos de 300 millones de euros.

C. Mejoras socioeconómicas.

En ambos escenarios anteriores, un cambio en los cultivos de la zona, hacia una producción de vino de mayor calidad (escenario agrícola B) aumentaría un 10% el número de empleos y un 5% los ingresos. De igual forma, un cambio mayor en los cultivos regados, hasta el escenario agrario E (lo que significaría que hubiera cero hectáreas de cereal), resultaría en un aumento de un 20% de los empleos agrarios y de un 10% la producción agraria bruta. Ambos cambios de cultivos aumentan un 1% las probabilidades de recuperar el acuífero.

D. Recursos renovables muy altos.

La única forma de asegurar la recuperación del acuífero antes del año 2027, aún partiendo de la existencia actual de sólo 130.000 ha de regadío, sería asegurando unos recursos renovables muy altos: entre 305 y 425 hm^3 anuales. Esta circunstancia podría permitir (que no asegurar) la recuperación del acuífero aún partiendo de 260.000 ha regadas actualmente. Sólo hay dos formas de conseguir estos recursos renovables: a) con una sucesión de años muy húmedos o b) con un trasvase desde el exterior.

6.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 6

Como conclusión de este capítulo, se puede decir que la superficie actual que esté en regadío es el gran condicionante de la gestión del agua actualmente en el acuífero de la Mancha Occidental. La falta de una extensión que sea reconocida por todas los grupos de interés es un obstáculo que dificulta tanto la planificación como la gestión del agua.

Los resultados de la red bayesiana parecen coincidir con los datos que indican una superficie cercana a las 130.000 hectáreas. Si esta fuera realmente la extensión regada, habría que plantearse también cómo gestionar las otras 130.000 hectáreas que o bien tienen derechos de riego, o bien se riegan sin tener derechos de riego, o

bien se han regado en algún momento. Por tanto, habría que tener en cuenta toda la extensión en la futura gestión del agua.

Partiendo de una superficie actual de 130.000 hectáreas, los resultados de la red bayesiana indican que si el PEAG se ejecutara tal y como se ha planeado, habría un 65% de probabilidades de recuperar el acuífero en el largo plazo, y un 40% antes del año 2027 (Tabla 6.14 y Figura 6.7). En el mismo escenario, habría un 90% de probabilidades de que hubiese menos de 10.000 UTAs, frente a las 15.000-20.000 existentes actualmente (Figura 6.8). De igual forma, la producción agrícola bajaría de los 250-400 millones de euros actuales a entre 90 y 250 millones de euros (Figura 6.9).

A su vez, si se ejecuta el PEAG de la forma prevista por los participantes en la construcción de la red bayesiana, sus resultados indican un 25% de probabilidades de que el acuífero se recupere antes de 2027 (contando con una superficie actual en regadío de 130.000 ha), siendo lo más probable que se mantenga sin apenas variar (Tabla 6.25).

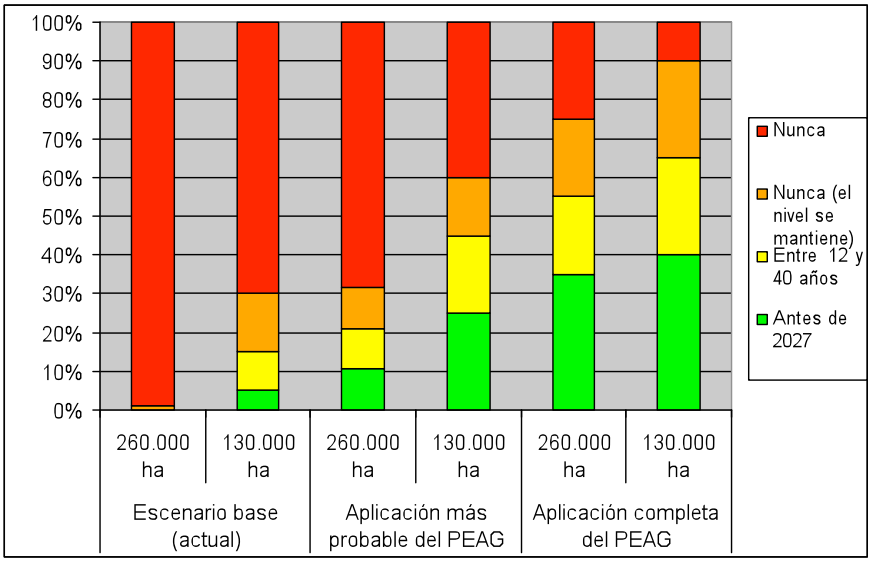


Figura 6.7. Años que tardaría en recuperarse el acuífero de la Mancha Occidental, en función de la ejecución del PEAG.

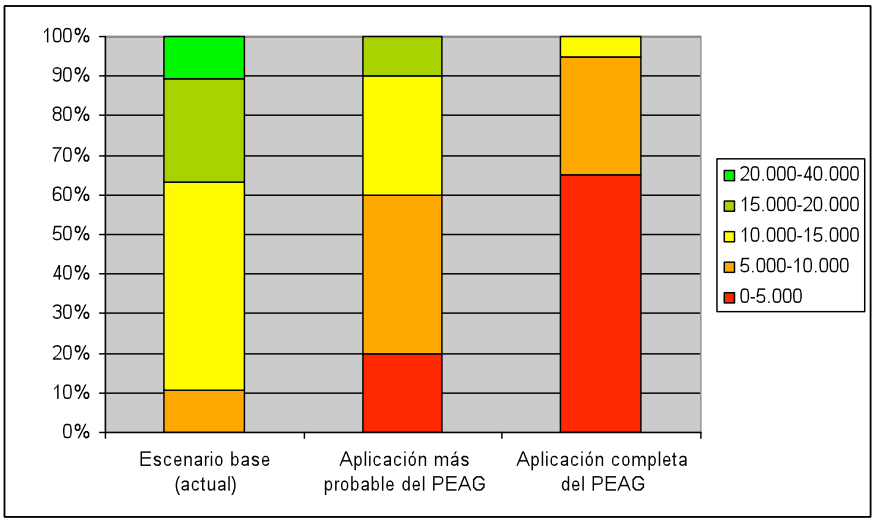


Figura 6.8. Número de trabajadores en la gricultura (UTAs), suponiendo que actualmente la superficie en regadío suman 130.000, para cada uno de los escenarios de ejecución del PEAG.

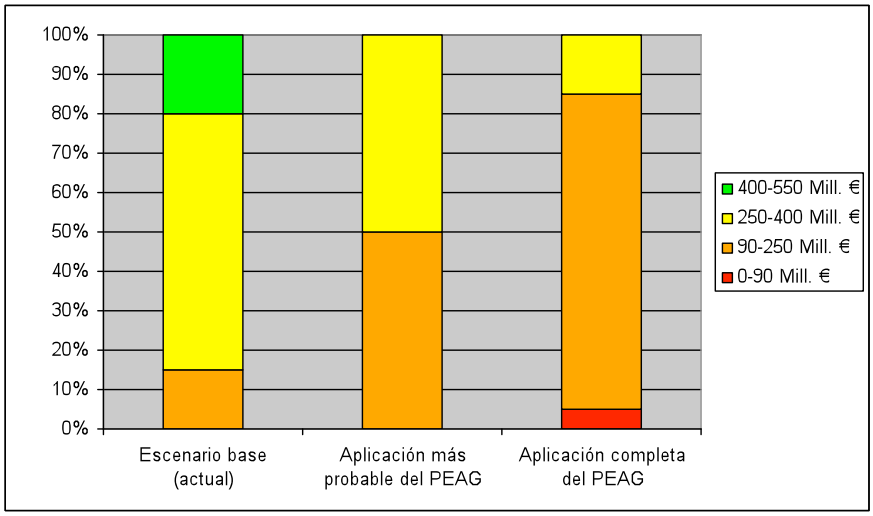


Figura 6.9. Producción agrícola bruta regional anual, en el acuífero de la Mancha Occidental, suponiendo una superficie actual en regadío de 130.000 ha, y dependiendo del grado de ejecución del PEAg.

Tabla 6.25. Tabla en la que se presenta un resumen de los principales escenarios anallizados.

Escenarios	Superficie actual en regadío	Años hasta recuperación del acuífero	Número de UTAs	Producción agraria (Mill. €/año)
Situación actual	260.000 ha	Nunca	22.750	533
	130.000 ha	Nuca	13.875	332
Aplicación más probable del PEAG	260.000 ha	Nunca	15.625	392
	130.000 ha	Sin cambios (nunca)	9.000	270
Ejeución completa PEAG	260.000 ha	Entre 12 y 40 años	7.250	278
	130.000 ha	Antes de 2027	4.500	187

Hay que tener en cuenta que con la red bayesiana no se han evaluado todas las medidas contenidas en el PEAG, porque las medidas socioeconómicas y agrícolas se encuentran poco definidas en dicho documento. Por tanto, otras medidas, especialmente el Programa de desarrollo económico y social y el Programa de modernización y desarrollo agrario, podrían contrarrestar la pérdida de producción y de empleos que conllevarán algunas de las medidas que si se han evaluado, y que supondrán la reducción de hectáreas de regadío, como la compra de derechos de uso de agua.

Los cultivos hortícolas y los cultivos leñosos ocupan a un número mayor de agricultores y son más productivos económicamente que los cultivos de cereales, por unidad de superficie y por volumen de agua utilizado. Por tanto, parece acertado que se favorezca la venta de derechos de uso de agua de explotaciones de cereales. Los cultivos de leñosos en regadío son los que parecen contribuir más claramente a los tres objetivos de sostenibilidad ambiental, social y económica.

También se ha mostrado que la variación en los precios de los cultivos es muy grande, por lo que la producción de cultivos de alta calidad, e incluso ecológicos, tiene un gran

potencial para mantener la producción económica agrícola, contrarrestando los efectos de los descensos de superficie regada. Para esto último, la concienciación de la población y el *marketing* parecen elementos prioritarios.

La red bayesiana muestra que la recuperación del acuífero en cualquier caso será a largo plazo (más de diez años) y que el PEAG puede tener efectos positivos para su recuperación. Según la opinión de los grupos interesados en la gestión del agua, lo más probable es que el PEAG no se ejecute tal y como está aprobado, y los dos primeros años del plan (2008 y 2009) parecen ir en esa dirección, ya que los fondos económicos que han llegado han sido menores que los aprobados. En este caso, el nivel del acuífero tardará más años en llegar a recuperar los niveles que tenía a principios de la década de 1970.

CAPÍTULO 7. RED BAYESIANA DINÁMICA

En este capítulo se describe la red bayesiana dinámica del acuífero de la Mancha Occidental, y se presentan los resultados que aporta. La red bayesiana normal, presentada en los capítulos 5 y cuyos resultados se han incluido en el capítulo 6, representa el sistema del acuífero de la Mancha Occidental como una "foto fija", en el año 2015. Por eso no se pueden evaluar las diferencias entre ejecutar de forma rápida o lenta las políticas analizadas. Por eso surgió la necesidad de construir una red bayesiana que represente el sistema a lo largo del tiempo, que se ha llamado red bayesiana dinámica. Se diferencia de la red bayesiana normal porque está formada por 20 redes bayesianas normales, que representan el sistema desde 2008 hasta 2027, y que están unidas entre sí a través de varias relaciones. Esta nueva red bayesiana también mejora la evaluación de las consecuencias del cambio climático. Además, el método utilizado tiene ventajas que podrían utilizarse para otros objetivos, como por ejemplo crear retroalimentaciones, que es una de las limitaciones de las redes bayesianas.

Los resultados de la red bayesiana indican que es necesario que las medidas evaluadas se ejecuten en un corto periodo de tiempo para que el acuífero de la Mancha Occidental esté recuperado en el año 2027, que es el año límite para la aplicación de la Directiva Marco del Agua. El cambio climático simulado con la red bayesiana dinámica hace que las probabilidades de que el acuífero esté recuperado en el año 2027 bajen entre un 2% y un 9%. El método se ha mostrado rápido y eficaz, aunque el programa informático utilizado todavía podría mejorar su uso.

7.1 CONCEPTO DE RED BAYESIANA DINÁMICA Y SU DIFERENCIA CON UNA RED NORMAL

Las redes bayesianas son diagramas de variables que influyen unas sobre otras en un solo sentido y no permiten diagramas circulares. Es decir, pueden calcular probabilidades de forma lineal, pero no de forma circular, porque entonces los cálculos serían infinitos. Por esta razón las redes bayesianas tradicionales representan sistemas funcionando durante una unidad de tiempo, a modo de foto fija. No permiten más de un paso de tiempo ni hacer retroalimentaciones entre variables. Esta es una limitación importante (Inman 2008), porque muchas variables de los socio-ecosistemas se retroalimentan entre sí, y porque muchas relaciones entre variables varían a lo largo del tiempo, en un plazo medio o largo, y no sólo en un lapso de tiempo.

El tiempo es un factor importante en la gestión de recursos hídricos, y más en la gestión de un acuífero tan grande como el de la Mancha Occidental. Redes bayesianas que tengan en cuenta los cambios en el tiempo harían la herramienta mucho más útil, especialmente para evaluar distintas decisiones de gestión. Por tanto, encontrar una forma para que las redes bayesianas cambien con el tiempo permitiría estudiar y analizar sistemas con altos grados de incertidumbre de forma holística, integrada, cuantitativa y probabilística, y que cambien con el tiempo.

En el caso particular de esta tesis, el interés en obtener una red que calcule las variaciones del sistema a lo largo del tiempo era alto, esencialmente porque la

recuperación de un acuífero del tamaño del de la Mancha Occidental sólo puede producirse a largo plazo (decenas de años). Como se ha mencionado en el capítulo 6, "Resultados de la red bayesiana", los objetivos que se persiguen, y para los que ha sido necesario construir una red bayesiana dinámica son:

1. Evaluar las consecuencias que las diferentes acciones pueden tener a largo plazo.

2. Evaluar las consecuencias de los diferentes "ritmos" de ejecución del PEAG.

3. Evaluar las consecuencias que el cambio climático puede tener para la recuperación del acuífero antes del año 2027.

4. Evaluar las diferentes formas de construir las redes bayesianas dinámicas y las limitaciones de los métodos actuales.

Cuando se trabaja en sistemas que evolucionan en el tiempo, se puede construir una red bayesiana para cada unidad de tiempo. A su vez, cada unidad de tiempo (*Time Slices*) puede unirse con la anterior y con la siguiente por medio de flechas (relaciones) para formar una red bayesiana completa (Jensen and Nielsen, 2007). El concepto de redes bayesianas dinámicas (Dean y Kanazawa, 1989) se basa en enlazar una red bayesiana que represente un lapso de tiempo, con otra red bayesiana que represente el siguiente lapso de tiempo, y enlazar tantas redes como se quiera para representar el sistema a lo largo del tiempo (Figura 7.1). De esta forma, al unir una red bayesiana con otra, los resultados de la primera sirven de datos de partida de la siguiente. El término dinámico significa que se está representando un sistema dinámico, no significa que la estructura de la red cambie en el tiempo (Murphy, 2002). Una red bayesiana dinámica permite más flexibilidad que las tradicionales porque permite introducir también relaciones cíclicas. Esto permite representar retroalimentaciones o regulaciones cíclicas a lo largo del tiempo.

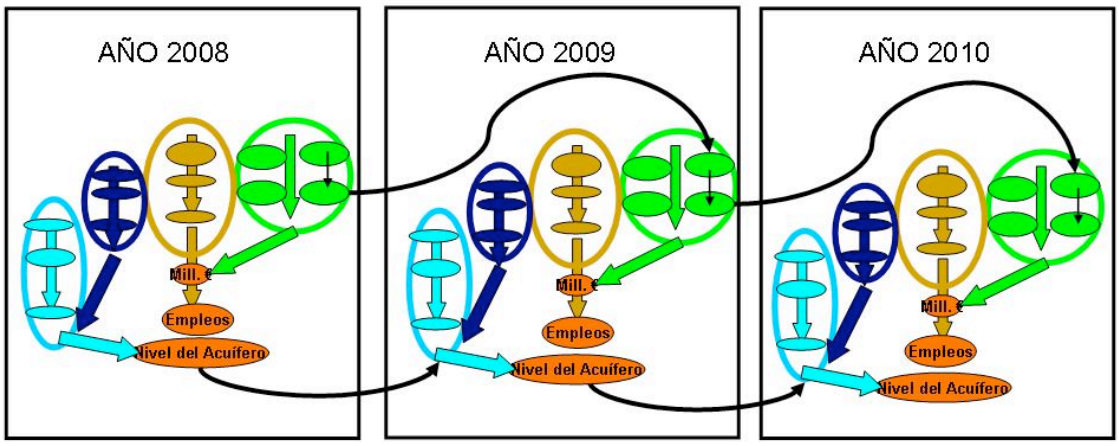


Figura 7.1. Ejemplo del funcionamiento de una red bayesiana dinámica.
El nivel del acuífero al final 2008 será en nivel del acuífero inicial en el año 2009, y la superficie final de regadíos en el año 2008 será la inicial en el año 2009.

Algunos trabajos anteriores han utilizado redes bayesianas dinámicas aplicadas a diferentes disciplinas, tales como el reconocimiento de discursos orales mediante ordenadores (Zweig and Russell, 1998); la investigación de las funciones de los genes

(Murphy and Mian, 1999 y Kim *et al.*, 2004); la fiabilidad de sistemas complejos industriales (Weber *et al.*, 2004); las previsiones meteorológicas (Kumar and Maity, 2008). Weber y Jouffe (2006) y Shihab and Chalabi (2007a y 2007b) son de los pocos que han seguido una metodología similar a la utilizada en este estudio, siendo el segundo de ellos, el único aplicado a la gestión de recursos naturales, en concreto, a los impactos de la contaminación en el agua subterránea.

Por tanto, el interés metodológico de aplicar este método estriba en que está relativamente poco desarrollado y que constituye una contribución innovadora aplicada a la gestión de recursos naturales. También es interesante para comprobar los límites de las herramientas (software) que existen actualmente, y descubrir qué avances o aplicaciones serían más útiles. Por ejemplo, programas de redes bayesianas como el HUGIN y otros similares tienen una capacidad limitada para desarrollar redes bayesianas dinámicas.

7.2 TRES MÉTODOS PARA CONSTRUIR REDES BAYESIANAS DINÁMICAS

Las características que definen el funcionamiento de la red bayesiana dinámica construida y presentada en el presente documento son:

a) Las relaciones entre las redes de los distintos años son consideradas directas.

b) Los valores de las variables son discretos, es decir, se han expresado mediante números o intervalos, pero no mediante funciones continuas.

c) Las relaciones entre un paso de tiempo y el siguiente hacen que las variables del futuro sean independientes de los pasos de tiempo anteriores, (Kjaerulff, 1995). Es decir, están influidas por la red del lapso de tiempo inmediatamente anterior, y no por otros pasos de tiempo anteriores. Estos modelos se conocen como cadenas de Markov. Para aclararlo se recurre a un hipotético ejemplo de la presente red bayesiana: una vez que se sabe que en el año 2015 el nivel del acuífero ha subido 1 metro, sólo se necesita saber el nivel piezométrico del año 2014, que por ejemplo podría ser -20 metros, para saber que el nivel piezométrico en 2015 será -19 metros. Y por tanto no es necesario saber el nivel del acuífero en el año 2013.

Estas características han facilitado la construcción de la red bayesiana dinámica porque son las relaciones relativamente sencillas (Kuenzer *et al.*, 2001; Murphy 2002). Tres métodos que se pueden utilizar para construir una red bayesiana dinámica de estas características son:

Para construir redes bayesianas dinámicas existen tres métodos que se explican en el siguiente apartado: unir redes en un mismo archivo, utilizar el denominado "*Object Oriented Bayesian Network*", o utilizar un programa externo para enlazar las redes bayesianas entre sí (*Forward sampling*). A continuación se explica cada uno de ellos.

A. Unir redes bayesianas directamente en un mismo archivo:

Consiste en construir una red bayesiana formada por varias partes. Cada parte representaría el sistema en un lapso de tiempo (por ejemplo, un año). Cada parte de la red estaría unida a otras partes, según la influencia que tuvieran entre sí a través del tiempo. Este método tiene la ventaja de que se puede construir una red bayesiana diferente para cada lapso de tiempo, lo que puede ser útil cuando las redes bayesianas dinámicas no sean muy complejas.

Es una forma sencilla de unir redes bayesianas pero tiene varias desventajas importantes. La primera de ellas, es que si las redes bayesianas que se quieren unir son grandes, no puede visualizarse entera en la pantalla de un ordenador. La red bayesiana de la presente tesis sólo permitía visualizar un lapso de tiempo en la pantalla, por lo que la comunicación de los resultados a las partes interesadas era problemática.

La segunda de ellas, es que si el sistema aumenta su complejidad con el tiempo, de modo que haya muchas variables, muchos estados y/o muchas relaciones, se puede llegar pronto al límite físico del procesador de un ordenador normal. Esto ocurría al intentar construir la red bayesiana dinámica de la presente tesis.

La última y la más importante, es que si se tiene un número elevado de partes de la red bayesiana dinámica unidas entre sí (por ejemplo 15, como en el presente caso), cambiar cualquier elemento (variable, relación, estado o probabilidad) requiere modificar dicho elemento en todas las partes. Esto puede requerir mucho tiempo, especialmente si cada parte tiene muchas variables, y, en el presente caso, reducía mucho su utilidad.

B. *Object Oriented Bayesian Network*:

Se puede utilizar el método *Object Oriented Bayesian Network* (*OON*) si el sistema se puede representar como un modelo temporal repetitivo, que consiste en que la estructura de cada unidad de tiempo sea idéntica, y en que las relaciones sean las mismas (Jensen and Nielsen, 2007; pág 84-93). En estos casos, en lugar de representar la misma red bayesiana varias veces, es muy útil construir un fragmento "genérico" de la red bayesiana, que sea repetido automáticamente las veces que sea necesario. Redes bayesianas dinámicas de este tipo se pueden modelizar fácilmente usando la aproximación *Object Oriented Network (OON*).

Las *OON* se utilizan para unir redes bayesianas entre sí (Koller and Pfeffer, 1997). Una *OON* es una red bayesiana en la que influye/n otra/s redes bayesianas. Esto se hace posible porque además de las variables llamas "normales", hay "variables interfase" (*Instance or interface nodes*) (HUGIN Manual, 2008).

Las diferentes redes bayesianas que intervienen en una *OON* se llaman "objetos" (Koller and Pfeffer, 1997). Una *OON* permite trabajar con varios objetos a la vez, es decir, con varias redes bayesianas que tengan relaciones entre sí. A su vez, en los objetos se distinguen tres tipos de variables: las variables de entrada, las variables intermedias o encapsuladas, y las variables de salida. Las variables de entrada, son las variables padre que reciben información de fuera del objeto (es decir, de otra red bayesiana). Las variables intermedias, son las que reciben información de variables del

propio objeto, y que transmiten información a variables que también están dentro del objeto. Por último, las variables de salida transmiten información a variables que se encuentren fuera del objeto (a otra red bayesiana) (Jensen and Nielsen, 2007; pág 84-93).

Para simplificar la representación visual de las *OON*, no se representan las variables intermedias, y sólo se representan las variables de entrada y las de salida, aunque los cálculos tienen en cuenta la red completa, obviamente.

Las *OON* tienen además ciertas ventajas, como el hecho de que facilitan la construcción de redes bayesianas representando distintas escalas; la construcción de redes bayesianas que tengan fragmentos idénticos; y permiten organizar una red bayesiana de forma que facilite su comprensión y la comunicación entre las personas que intervengan en su construcción (HUGIN Manual, 2008).

Además, la principal ventaja que tiene este método es que es muy útil cuando las redes bayesianas de cada unidad de tiempo ("*Time Slices*" u objetos) son idénticas, porque permite ahorrar mucho tiempo en la construcción de los escenarios. En estos casos, en una OON se pueden incluir "copias" de un mismo objeto (en este caso, de una red bayesiana que represente el acuífero durante un año). De esta forma, un solo archivo, una sola red bayesiana, sirve para representar el sistema tantos años como se quiera. Al introducir o cambiar los datos (variables, estados, relciones y probabilidadaes), es suficiente con introducirlos o cambiarlos solamente una vez, en lugar de tener que cambiarlos en cada una de las partes correspondientes a cada unidad de tiempo. Esta ventaja, a su vez, puede ser una limitación cuando interesa que cada año tenga unas probabilidades "padre" diferentes.

Sin embargo, también tiene la limitación del número de cálculos requeridos para obtener los resultados, es decir, cuando las redes son demasiado complejas, los cálculos necesarios pueden llegar a hacer inviable la operación, porque el procesador del ordenador no tenga la capacidad suficiente para realizar los cálculos necesarios. Por tanto, aunque este método permite mayor complejidad que el método anterior, también puede llevar al sistema informático a su límite físico cuando se aumenta su complejidad.

Por último, la representación visual es sencilla y permite una fácil comunicación de los resultados a los actores interesados.

C. *Forward sampling*:

Este método consiste en construir un programa informático que ligue las variables de salida de un año, con las variables de entrada del siguiente. Es una forma eficiente para calcular las probabilidades en modelos de Markov (Kjaerulff, 1995). Este método tiene los siguientes inconvenientes:

- Es necesario saber programar en un lenguaje compatible con el programa de redes bayesianas que se utilice.

- Es más complicado de visualizar a los interesados, porque tendría la representación de un método de programación. Construir una interfaz apropiada para trabajar con los grupos interesados puede llevar mucho

tiempo, más del que se podría necesitar para hacer los cálculos por medio de alguno de los dos métodos anteriores.

- Siempre que se modifiquen las redes bayesianas, es necesario modificar el programa. Esto hace necesario que la persona encargada de la construcción de la red sepa programar. Además, este proceso hace mucho menos visual los cambios para ser comunicados a las partes interesadas.

- No permitiría hacer cálculos inversos, es decir, fijar el estado de la variable objetivo para ver qué estados deben tomar las variables "padre" en los distintos pasos de tiempo.

Por el contrario, la principal ventaja que tendría es que permite operar con redes bayesianas más complejas que con los métodos anteriores. Para aplicar este método se han propuesto diferentes fórmulas que reducen el tiempo requerido para calcular redes bayesianas dinámicas (Ghahramani, 1997; Boyen and Koller, 1998; Friedman *et al.*, 1998; Doucet *et al.*, 2000).

D. Método elegido

Para esta primera aproximación a las redes bayesianas dinámicas, no era imprescindible tener un gran número de relaciones entre las redes de cada año. Por tanto, se estimó más importante realizar un primer ensayo con una red bayesiana dinámica simple (a costa de reducir el número de relaciones que no eran imprescindibles), que aplicar otros métodos. Para ello se decidió utilizar el método *Object Oriented Network (OON*, de aquí en adelante), que permitía desarrollar redes bayesianas dinámicas, y que requería una inversión de tiempo apropiada para el tiempo disponible para la investigación.

En este caso, se ha utilizado el algoritmo incluido en el programa HUGIN 6.9, que es un algoritmo para calcular los resultados exactos. Éste cálculo requiere mucha memoria para su cálculo, por lo que sólo es útil para redes bayesianas no muy complejas. Como se explica a continuación, la red bayesiana del acuífero Mancha Occidental es suficientemente simple para utilizar este método, pero suficientemente compleja como para llevar al programa HUGIN 6.9 y al ordenador a sus límites físicos, lo que también ha sido un reto interesante.

7.3 PROBLEMAS EN EL CÁLCULO DE REDES BAYESIANAS DINÁMICAS

Es relativamente sencillo construir redes bayesianas dinámicas con la herramienta *"Object oriented networks"*, aunque existen ciertas limitaciones en cuanto al número de cálculos que debe realizar el ordenador. Como se ha explicado en el capítulo 3, "Metodología de las redes bayesianas", las redes bayesianas muy complejas pueden hacer que el procesador del ordenador no tenga capacidad para hacer los cálculos. Las mismas limitaciones que se dan en redes bayesianas normales ocurren al calcular las redes bayesianas dinámicas, aunque en este segundo caso, la complejidad aumenta por las relaciones entre las redes de cada paso de tiempo.

A continuación se explica la experiencia adquirida en la construcción de la red bayesiana dinámica con la herramienta *OON*.

En este caso, se pretendía la una red bayesiana presentada en la figura 5.1, que tiene 60 variables, con entre 3 y 11 estados cada una de ellas, con otra red igual. El árbol conjunto de dicha red se muestra en la figura 3.5, y el tamaño del dominio más grande es de 336.000 (combina 7 variables).

Para construir la red bayesiana dinámica a través de la herramienta *OON*, se intentó enlazar dos redes iguales, con las características anteriores, a través de 10 relaciones entre ellas. El tamaño de dicha red bayesiana dinámica era muy elevado, y el ordenador no tenía la capacidad suficiente para hacer los cálculos. Por esta razón no se incluyeron un conjunto de variables, las relacionadas con los cultivos de secano. En los siguientes apartados se explica cómo se subsanó esta diferencia entra la red bayesiana normal y la dinámica.

Utilizando redes bayesianas del acuífero de la Mancha Occidental que no tuvieran las variables de secano, el tamaño del árbol conjunto se redujo muy considerablemente: la red pasaba a contar con 49 variables, con entre 3 y 10 estados, y el tamaño del dominio más grande pasó a ser de tan sólo 12.000, combinando 5 variables (figuras 7.2 y 7.3).

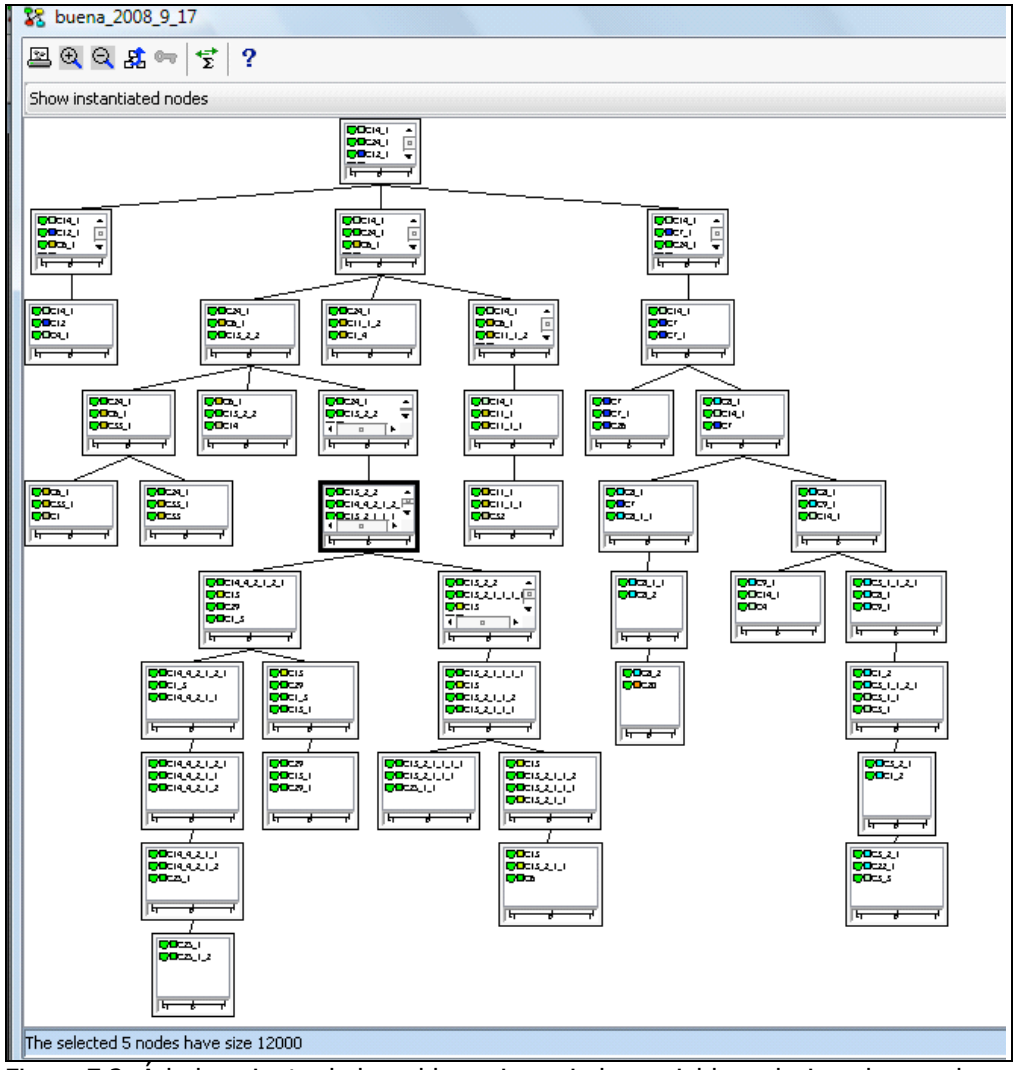


Figura 7.2. Árbol conjunto de la red bayesiana sin las variables relacionadas con los cultivos de secano. El dominio con mayor tamaño está señalado: tiene cinco variables y su tamaño es 12.000.

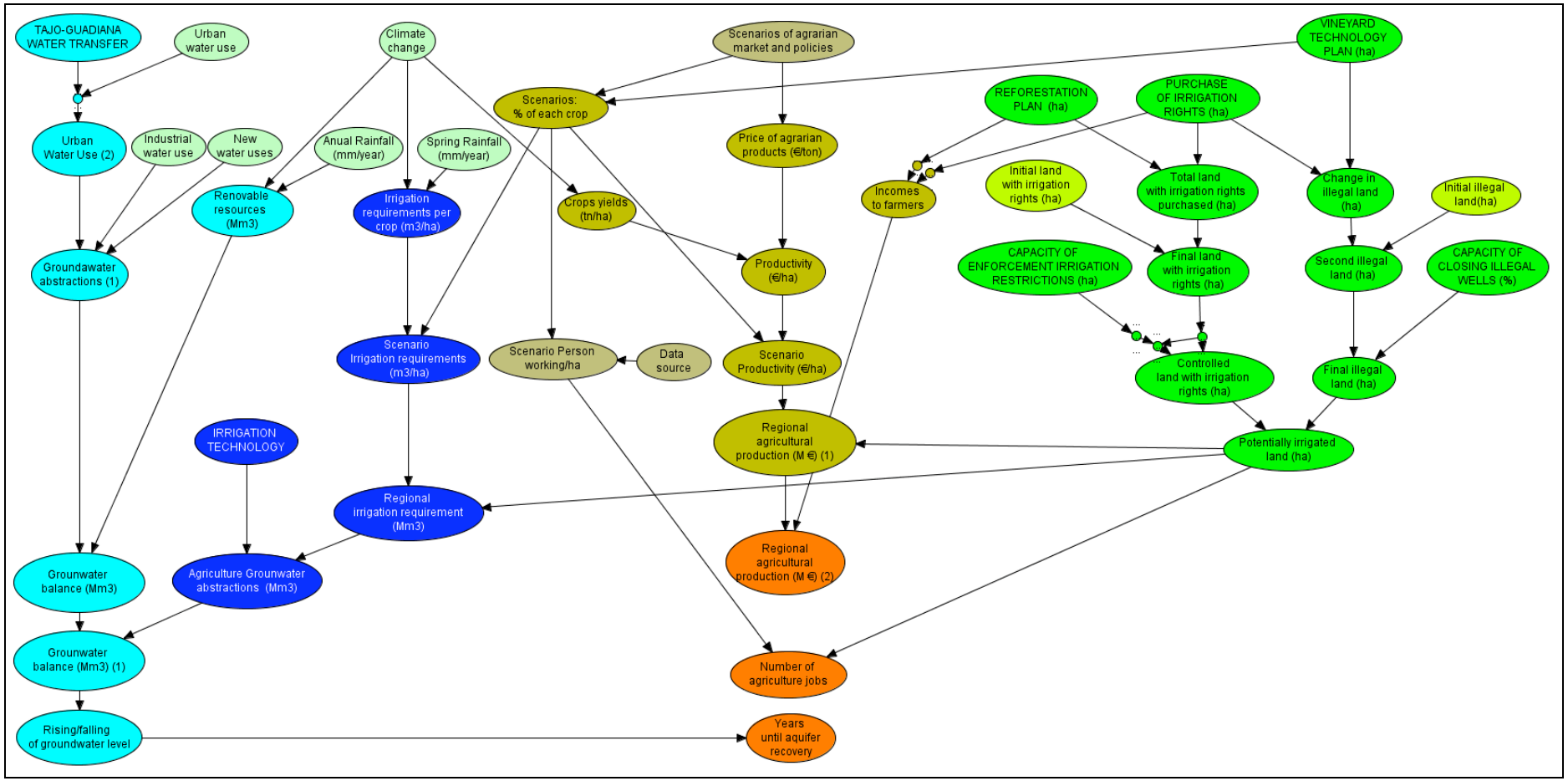


Figura 7.3. Red bayesiana utilizada para construir la red bayesiana dinámica. Se diferencia de la red bayesiana normal, en que se han eliminado las variables relacionadas con el secano para simplificar su estructura.

A partir de este momento, siempre se trabajó con la red bayesiana sin las variables de secano. Las intenciones iniciales eran relacionar 10 variables de una red con otras 10 variables de la siguiente. Sin embargo el ordenador no tenía memoria física para calcular los resultados (si no calcula los resultados el programa no proporciona el Junction tree). A continuación se fue reduciendo el número de relaciones entre las redes: con 8 relaciones funcionaba sólo 1 paso de tiempo, pero cuando se le añadían más pasos de tiempo también dejaba de funcionar.

A continuación se intentó unir redes que representaran varios años, para que hubiese menos saltos de tiempo: con este sistema el ordenador si tenía memoria suficiente, pero la red quedaba sin sentido. En cambio, reduciendo las relaciones entre las redes de cada año hasta solamente tres, el sistema si tenía memoria suficiente para calcular todos los pasos de tiempo que se quisiera. De esta forma, el tamaño del mayor dominio del Junction tree de la red bayesiana dinámica es de 258.048, relacionando 7 variables.

7.4 DISEÑO Y DESARROLLO DE LA RED BAYESIANA DINÁMICA DEL ACUÍFERO DE LA MANCHA OCCIDENTAL

7.4.1. Consideraciones generales

Se ha construido una red bayesiana dinámica que representa el sistema del acuífero de la Mancha Occidental desde el año 2008 hasta el año 2027, año en el que se cumple la última prórroga para cumplir los objetivos de la Directiva Marco del Agua.

Como se acaba de explicar, la red bayesiana dinámica se ha construido mediante el método *Object Oriented* Network (OON). Este método tiene la ventaja de que se puede utilizar una misma red bayesiana normal, y repetirla tantos años como se quiera.

El concepto de red bayesiana dinámica uniendo redes bayesianas entre sí se puede entender mediante la representación de la figura 7.4.

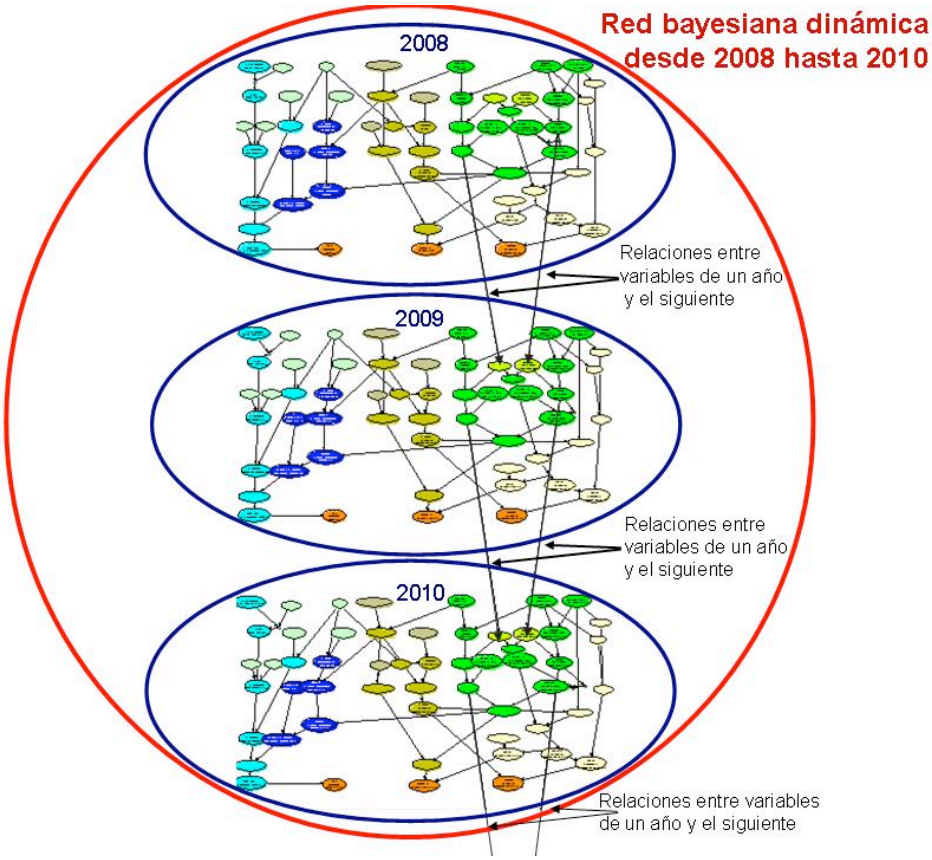


Figura 7.4. Se puede observar cómo se unen redes bayesianas con el mismo diseño, mediante enlaces entre algunas de sus variables.

Mediante el método *OON* se definen unas variables de salida, que tienen influencia en variables del año siguiente, y unas variables de entrada, que introducen la influencia de las variables del año anterior. En la figura 7.5, las variables de salida tienen una línea gris alrededor, y las variables de entrada tienen una línea gris pero en este caso discontinua.

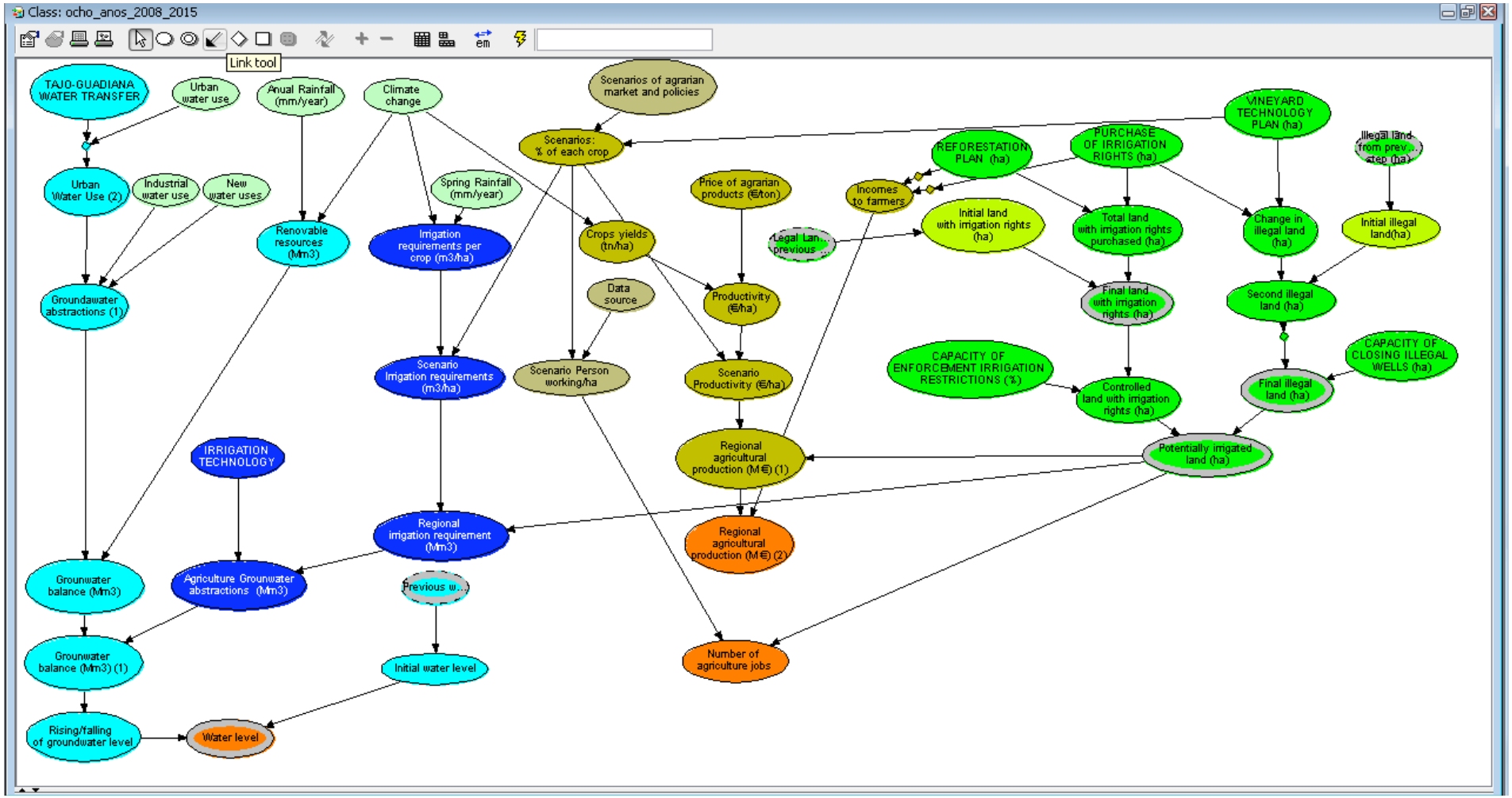


Figura 7.5. Red bayesiana normal utilizada como "objeto" en la red bayesiana dinámica.
Es la red bayesiana que representa un lapso de tiempo de un año. Y es la que se copia tantas veces como años se quieran representar.

De esta forma, el "Nivel del acuífero" (*Water level*) de la red bayesiana del año "t" es una variable de salida. Y la variable "Nivel anterior del acuífero" (*Previous water level*) es una variable de entrada, porque introduce el nivel del acuífero del año "t-1". Así, sabiendo en nivel del acuífero en el año t-1, y sabiendo el balance hídrico en el año "t", se puede saber cuál será el nivel del acuífero en dicho año "t".

De la misma forma, la "Superficie de regadíos con derechos de uso del agua" y la "Superficie de regadíos sin derechos de uso del agua", son variables que se enlazan cada año. La superficie que quede en regadío después de la compra de derechos realizada durante el año t-1, será la superficie inicial en regadío en el año t.

Una vez que se han definido las variables de entrada y salida, la herramienta *OON* del HUGIN 6.9 permite representar dicha red bayesiana visualizando solamente las variables de entrada y salida, como se puede ver en la figura 7.6.

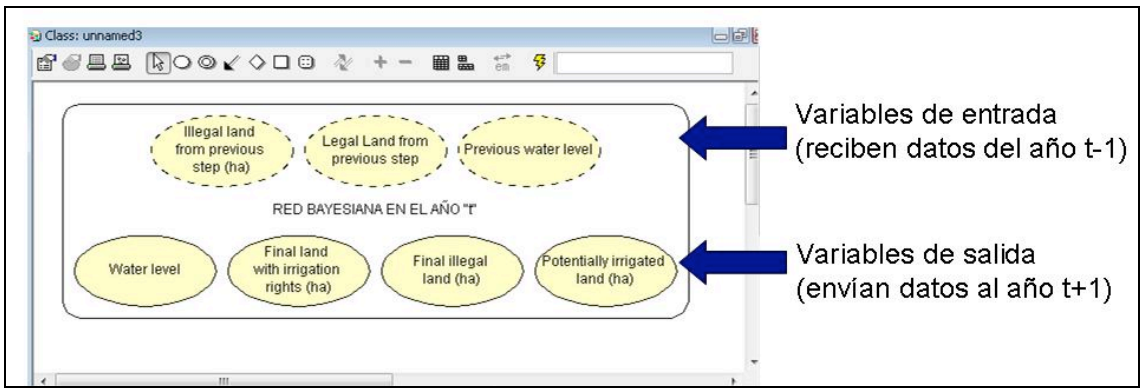


Figura 7.6. Ventana de HUGIN 6.9. En el cuadro están representadas las variables que reciben información de la red bayesiana del año anterior y las varibables que envían información a la red bayesiana del año siguiente.
Las primeras se llaman variables de entrada y tienen una línea discontinua; las segundas, son las variables de salida y tienen una línea continua.

Posteriormente, sólo queda enlazar redes bayesianas de años consecutivos a través de las variables de entrada y salida, de la forma que se ve en la figura 7.7.

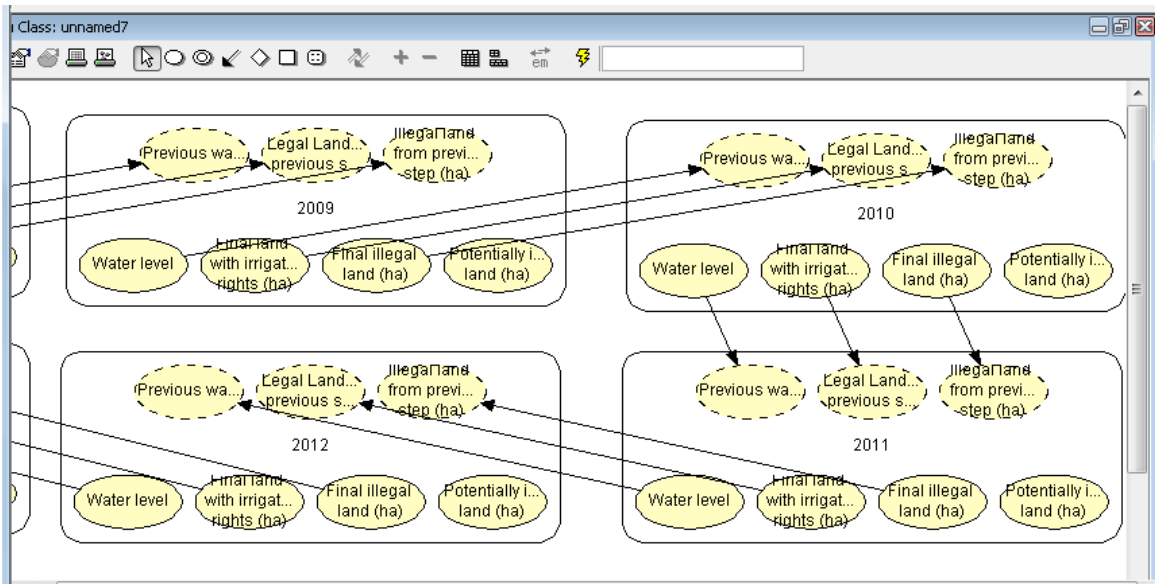


Figura 7.7. Se pueden ver las redes bayesianas correspondientes a los años 2009, 2010, 2011 y 2012. Y las relaciones que se han establecido entre las variables de entrada y las de salida.

Finalmente se ha introducido una red bayesiana correspondiente a cada año desde 2008 hasta 2027 (figura 7.8).

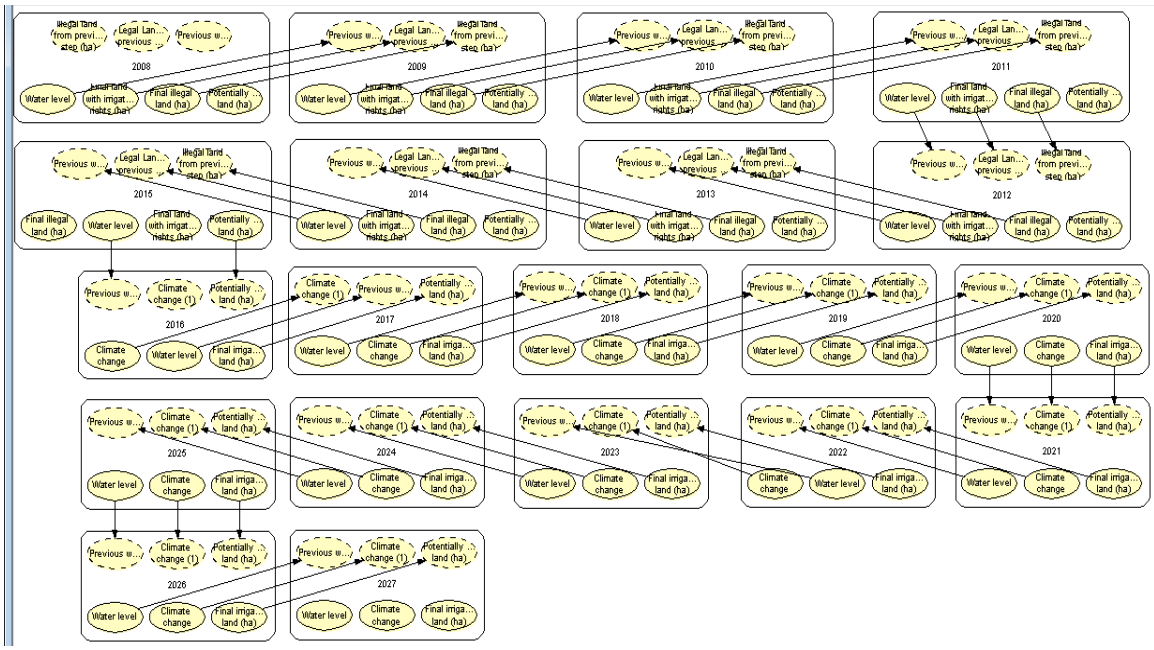


Figura 7.8. Red bayesiana dinámica del Alto Guadiana. Representa el periodo entre los años 2008-2027.

La red bayesiana "modelo u objeto" que se ha utilizado durante el periodo de puesta en práctica de las medidas del PEAG (Figura 7.6) se basa en la red bayesiana "normal". Las diferencias principales con ella son tres:

a) se han sustituido las variables correspondientes a los cultivos de secano;
b) se han introducido las variables necesarias para incorporar los datos de las redes bayesianas previas;

c) y se han adaptado los estados de ciertas variables, para el funcionamiento dinámico.

A continuación se explica las razones y la forma en la que se ha modificado la red bayesiana "normal".

7.4.2 Sustitución de variables de secano

Como se ha explicado en el apartado 7.3, redes bayesianas muy complejas requieren mayor tiempo para hacer los cálculos hasta llegar a hacer imposible su cálculo. El número de variables influye de forma exponencial en el número de cálculos necesarios. La red bayesiana del acuífero Mancha Occidental es muy compleja, y una simplificación de dicha red reduciría el número de cálculos necesarios.

Los resultados de la red bayesiana "normal" mostraban que los empleos e ingresos provenientes de los nuevos cultivos de secano que apareciesen como resultado de las

acciones del PEAG, significaban aproximadamente un 10% del total. Dado que el conjunto de variables necesarias para calcular estos datos era muy complejo, se vio apropiado simplificar la red bayesiana eliminando dichas variables. Por eso, los resultados de las variables de Empleos agrícolas y Producción Agraria Bruta se han multiplicado por un 10%, que es una media de la aportación que hacen los cultivos de secano en la red bayesiana. De esta forma, se seguía considerando esta información y se conseguía una importante simplificación.

7.4.3 Introducción de nuevas variables

Para adaptar la red bayesiana "normal" a la red bayesiana dinámica, se han introducido tres variables nuevas, que se explican a continuación:

a) Nivel piezométrico.

Debido al cambio conceptual de una red bayesiana estática a una dinámica, la variable "Años hasta recuperación del acuífero" (en inglés: "*Years until aquifer recov*ery") se ha sustituido por la variable "Nivel del acuífero" ("*Water level*"; Figura 7.10). Además se ha introducido una "variable de entrada" que es la que introduce el nivel piezométrico del año anterior: "Nivel piezométrico del año anterior" ("*Previous water level*"; Figura 7.9). En la Tabla 7.1 se muestran los estados de la nueva variable "Nivel del acuífero".

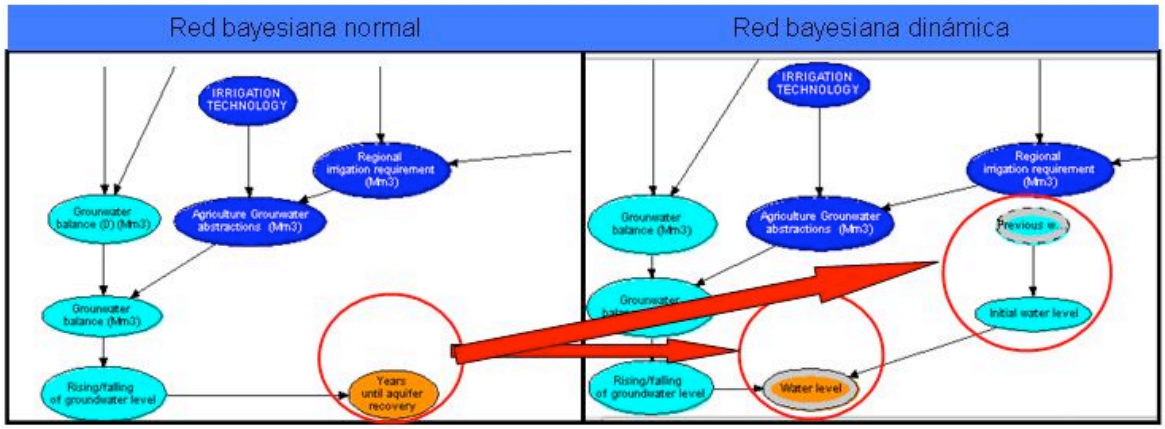


Figura 7.9. Detalle de variables introducidas para construir la red bayesiana dinámica en sustitución de la variable "Años hasta la recuperación del acuífero".

Tabla 7.1. Estados de "Nivel del acuífero".

Estados de Nivel del acuífero(metros)	
1	-70/-50
2	-50/-40
3	-40/-30
4	-30/-20
5	-20/-15
6	-15/-10
7	-10/-5
8	-5/1
9	1-20

b) Superficie con derecho de riego del año anterior (ha).

Esta nueva variable se ha introducido para recibir la superficie con derechos de uso de agua proveniente de la red bayesiana del año anterior. Los estados de esta nueva variable se presentan en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2. Estados y probabilidades de la variable "Superficie con derechos de riego del año anterior" en la red bayesiana dinámica.

Estados de Superficie con derechos de riego del año anterior		Probabilidades del primer año
Nº	(ha)	Año 2005
1	180.000-215.000	30%
2	160.000-180.000	0%
3	140.000-160.000	40%
4	120.000-140.000	0%
5	100.000-120.000	30%
6	75.000-100.000	0%
7	55.000-75.000	0%
	25.000-55.000	0%

c) Superficie sin derechos de riego del año anterior (ha).

Esta nueva variable se ha introducido para recibir la superficie de riego sin derechos de riego proveniente de la red bayesiana del año anterior (Tabla 7.3).

Tabla 7.3. Estados de "Superficie sin derechos de riego del año anterior" (ha) en la red bayesiana dinámica.

Estados de Superficie sin derechos de riego del año anterior (ha)	
1	110.000-140.000
2	95.000-110.000
3	75.000-95.000
4	55.000-75.000
5	35.000-55.000
6	25.000-35.000
7	10.000-25.000
8	500-10.000

7.4.4 Variables que han cambiado sus estados para construir la red bayesiana dinámica

En la red bayesiana "normal", los estados de las variables representaban los efectos de cada medida del PEAG tras los años que durase su ejecución; en concreto, tras los ocho años planificados en el PEAG. Sin embargo, dichas medidas pueden ponerse en práctica a diferentes ritmos de tiempo, por ejemplo en sólo cuatro años, en los ocho años planeados, o alargarse hasta tardar quince años. Para evaluar las consecuencias de aplicar el PEAG de forma más o menos rápida, ha sido necesario cambiar los estados que algunas variables tenían en la red bayesiana "normal".

Por ejemplo, en la red bayesiana "normal", se definió que el Plan de forestación podría afectar, por ejemplo, a 25.000 ha, a 45.000 ha o incluso a 75.000 ha. Esto quería decir

que en 2015 iban a estar afectadas dichas superficies de regadíos. Sin embargo, en la red bayesiana dinámica, cada red bayesiana "objeto" representa un año, y según el ejemplo anterior, hay una variable cuyos estados representaban cuánta superficie se vería afectada por el Plan de forestación a lo largo de cada año.

De esta forma, para verse afectadas por el Plan de forestación 25.000 ha desde 2008 hasta 2015, se deberían ver afectadas una media de 3.125 ha al año.

En cambio, si se viesen afectadas las mimas hectáreas, pero se tardase más tiempo en hacerlo, por ejemplo, se terminase el plan en 2022 (15 años después de aprobarse el PEAG), la superficie media afectada cada año sería menor: 1.666 ha al año.

A continuación se describen los nuevos estados adaptados a la red bayesiana dinámica. Para una explicación completa de cada variable, se puede encontrar en el capítulo 5, "Diseño de la red bayesiana: variables del modelo y sus relaciones, y dimensión espacio-temporal".

a) Plan de forestación (ha/año)

Es la superficie de regadío con derechos de agua a la que la administración compra sus derechos con los fondos del "Plan de Forestación" del PEAG (Tabla 7.4).

Tabla 7.4. Estados de "Plan de forestación" (ha/año) en la red bayesiana dinámica.

Estados de Plan de forestación (ha/año)					
	Total	Tiempo que tarda en aplicarse el PEAG			Probabilidades
		En 4 años	En 8 años	En 15 años	
Máximo	85.000-75.000	21.000-19.000	11.000-9.000	5.700-5.000	1%
Alto	75.000-45.000	19.000-11.000	9.000-6.000	5.000-3.000	20%
Medio	45.000-35.000	11.000-9.000	6.000-4.000	3.000-2.300	30%
Bajo	35.000-25.000	9.000-6.000	4.000-3.000	2.300-1.700	40%
Muy bajo	25.000-15.000	6.000-4.000	3.000-2.000	1.700-1.000	1%
Mínimo	15.000-1	4.000-1	2.000-1	1.000-1	8%
Actual (2005)	1-0	1-0	1-0	1-0	1%

b) Compra de derechos de agua (ha/año)

Es la superficie equivalente al volumen de los derechos de riego comprados con los fondos del PEAG incluidos en la "Adquisición administrativa de derechos de uso del agua y terrenos" (Tabla 7.5).

Tabla 7.5. Estados de "Compra de derechos de agua" (ha/año) en la red bayesiana dinámica.

Estados de Compra de derechos de agua (ha/año)					
	Total	Tiempo que tarda en aplicarse el PEAG			Probabilidades
		En 4 años	En 8 años	En 15 años	
Máximo	60.000-50.000	15.000-12.000	7.500-6.000	4.000-3.300	0%
Alto	50.000-40.000	12.000-10.000	6.000-5.000	3.300-2.700	0%
Medio	40.000-30.000	10.000-7.500	5.000-4.000	2.700-2.000	10%
Bajo	30.000-20.000	7.500-5.000	4.000-2.500	2.000-1.300	30%
Muy bajo	20.000-1	5.000-1	2.500-1	1.300-1	30%
Actual (2005)	1-0	1-0	1-0	1-0	30%

c) Superficie total compra de derechos (ha/año)

Es la suma de la superficie de tierras con derechos de riego retirada de regadío con los fondos del PEAG, tanto con fondos del "Plan de Forestación" como con fondos de la "Adquisición administrativa de derechos de uso del agua". Como sus variables padre han cambiado, ha sido necesario también cambiar sus estados (Tabla 7.6).

Tabla 7.6. Estados de "Superficie total compra de derechos" en la red bayesiana dinámica.

Estados de Superficie total compra de derechos	
Nº	(ha/año)
1	18.500-36.000
2	14.000-18.500
3	11.000-14.000
4	9.000-11.000
5	6.000-9.000
6	5.000-6.000
7	4.000-5.000
8	2.500-4.000
9	5-2.500
10	0-5

d) Superficie inicial con derecho de riego (ha).

En las fuentes consultadas se han encontrado grandes diferencias en cuanto a la superficie de regadíos. El análisis de las diferentes superficies que posiblemente pueden existir en realidad se ha realizado con la red bayesiana normal. Además, el objetivo de la red bayesiana dinámica es comprobar ciertos cambios en el tiempo, pero no evaluar las diferentes superficies que podrían estar en regadío. Para utilizar la red bayesiana se consideró conveniente utilizar una sólo superficie inicial, ya que lo interesante será comprobar las diferencias en el tiempo que se tarde en ejecutar las medidas evaluadas.

Por tanto, para todos los escenarios construidos, se ha partido de la superficie que parecía más cercana a la realidad según el capítulo 6, "Resultados". Dicha superficie parece cercana a las 130.000 ha de regadío, incluyendo tanto regadíos con derechos de riego como regadíos sin derechos de riego. El estado de esta variable que se ha utilizado en la red bayesiana dinámica es el incluido en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7. Estado de "Superficie inicial con derecho de riego" en la red bayesiana dinámica.

Estado de Superficie inicial con derecho de riego	**90.000-100.000** ha

e) Superficie con derecho de riego tras compra (ha).

Es la "Superficie inicial con derechos de riego" menos la superficie con derechos que ha sido comprada con los fondos del PEAG ("Superficie total compra de derechos"). Sus estados también han cambiado respecto de la red bayesiana normal, y los de la red dinámica se inluyen en la Tabla 7.8.

Tabla 7.8. Estados de la variable "Superficie con derecho de riego tras compra (ha)" en la red bayesiana dinámica.

Estados de Superficie con derecho de riego tras compra (ha)	
1	180.000-215.000
2	160.000-180.000
3	140.000-160.000
4	120.000-140.000
5	100.000-120.000
6	75.000-100.000
7	55.000-75.000
8	14.000-55.000

f) Programa de reconversión del viñedo (ha/año)

Esta variable representa los posibles nuevos regadíos ilegales que puedan surgir durante el periodo considerado, es decir, representa a las hectáreas que actualmente son de secano, y que se transformarán a regadío, sin permisos de uso de agua. Hay que tener en cuenta que en otras variables se tiene en cuenta la capacidad que la Confederación Hidrográfica del Guadiana tiene para controlar los regadíos ilegales. Si la capacidad de control de la CHG es muy alta, por tanto, lograría cerrar estos nuevos regadíos.

La Consejería de Agricultura de la JCCM está ejecutando un Plan de Reconversión del Viñedo, que consiste en ayudar a los agricultores a, entre otras cosas, instalar espalderas y riego por goteo en las explotaciones de viñedo. Aunque no está destinado para ello, en la reunión con las partes interesadas nos confirmaron que esta subvención es aprovechada por algunos agricultores para poner en regadío viñedos que antes eran de secano. Por tanto, este Plan puede ser una de los orígenes de los nuevos regadíos ilegales, aunque también aparecerían por otras razones, obviamente. Los estados de esta variable en la red bayesiana dinámica se presentan en la Tabla 7.9.

Tabla 7.9. Estados de "Programa de reconversión del viñedo" en la red bayesiana dinámica (ha/año).
Esto supone, por ejemplo, que se atribuye una probabilidad del 20% a que surjan entre 25.000 ha y 15.000 ha de nuevos regadíos sin derechos, durante el tiempo que tarde en ejecutarse el PEAG (4, 8 o 15 años. A su vez, si tardara 4 años en ejecutarse, se considera que cada año surgirían entre 6.000 y 4.000 has sin derechos nuevas.

Estados de Programa de reconversión del viñedo (ha/año)					
	Total	Tiempo que tarda en aplicarse el PEAG			Probabilidades
		En 4 años	En 8 años	En 15 años	
Máximo	40.000-25.000	10.000-6.000	5.000-3.000	2.700-1.700	5%
Medio	25.000-15.000	6.000-4.000	3.000-2.000	1.700-1.000	20%
Mínimo	15.000-5.000	4.000-1.200	2.000-600	1.000-300	50%
Nada	5.000-50	1.200-10	600-5	300-3	25%

Fuente de los datos:
La fuente de esta tabla son los nuevos 61 hm^3 que el PEAG (1) considera que podrían necesitar los nuevos regadíos resultado de aplicación de este programa (2). A partir del

volumen, se ha deducido la superficie de nuevos regadíos (se ha deducido aplicando una dotación de 1.500 m3/ha).
1- PEAG. B. Memoria Técnica (Anexo 7). 10. Evaluación Ambiental Estratégica. 10. 1. Memoria ambiental. Página: 14.
2- Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de Castilla-La Mancha, 2003.

g) Variación superficie sin derechos (ha)

La explicación de esta variable se puede encontrar en la variable nº 9 del capítulo 5, "Diseño de la red bayesiana: variables del modelo y sus relaciones, y dimensión espacio-temporal" (Tabla 7.10).

Tabla 7.10. Estados de "Variación superficie sin derechos" (ha) en la red bayesiana dinámica.

Estados de Variación superficie sin derechos (ha)			
Total	Tiempo que tarda en aplicarse el PEAG		
	En 4 años	En 8 años	En 15 años
40.000-25.000	10.000-6.000	5.000-3.000	2.500-1.500
25.000-15.000	6.000-4.000	3.000-2.000	1.500-1.000
15.000-1.000	4.000-200	2.000-1.000	1.000-50
1.000/-1.000	200/-200	100-100	50/ -50
-1.000/-10.000	-200/ - 2.000	-100/ -1.000	-50/ -700
-10.000/ -30.000	-2.000/ -7.500	-1.000/ -4.000	-700/ -2.000

h) Superficie actual sin derechos (ha)

Es la superficie de regadío sin derechos de riego contemplada en el PEAG (Tabla 7.11). Ver explicación en la variable "Superficie inicial con derecho de riego", en el capítulo 5, "Diseño de la red bayesiana: variables del modelo y sus relaciones, y dimensión espacio-temporal" (Tabla 7.11).

Tabla 7.11. Estados de "Superficie actual (2008) sin derechos de uso de agua" (ha) en la red bayesiana dinámica.
Fuente de los datos:
CHG, 2008. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 8.2. Informe de aprovechamientos sin aval en el acuífero nº 23. Pág.7. Consultado 21.9.2007; y Comunicación por escrito de la Oficina de Planificación de la CHG. 2/05/2008, interpretación de los datos contenidos en CHG, 2008. Anexo 7. B. Memoria Técnica. 8.2. Informe de aprovechamientos sin aval en el acuífero nº 23. Pág. 7. Consultado 12/1/2008.

Estados de Superficie actual sin derechos de uso de agua (ha)	35.000-45.000 ha

i) Superficie final de regadío sin derechos (ha)

Es la superficie que no tiene derechos de riego, que habría al terminar de ejecutar el PEAG (Tabla 7.12).

Tabla 7.12. Estados de "Superficie final sin derechos" (ha) en la red bayesiana dinámica.

Estados de Superficie final sin derechos (ha)	
1	110.000-140.000
2	95.000-110.000
3	75.000-95.000
4	55.000-75.000
5	35.000-55.000
6	25.000-35.000
7	10.000-25.000
8	500-10.000

j) Cambio climático

Son diferentes escenarios de cambio climático que influyen sobre tres grupos de variables: sobre las variables agrícolas (al influir en la producción agrícola), sobre las variables hidrológicas (al influir en los recursos renovables) y sobre las variables de regadío (al influir en las necesidades de riego de los cultivos).

Resumiendo las proyecciones en unos números representativos medios, los estados de la variable "Cambio Climático" se corresponden con los de la Tabla 7.13. El informe del IPCC sobre escenarios (IPCC SRES, 2001) especifica que todos los escenarios tienen la misma incertidumbre, por tanto, se ha proporcionado la misma probabilidad a cada escenario (33,3% a cada una) (Tabla 7.13).

Tabla 7.13. Estados de "Cambio climático" en la red bayesiana dinámica.

Estados de Cambio climático				
		Tª	P	Probabilidades
1	Sin cambio climático (actualidad)	=	=	33%
2	Cambio Climático moderado	+0,5ºC	-2,5%	33%
3	Cambio Climático severo	+1ºC	-7%	33%

k) Rendimiento (tn/ha)

Es el rendimiento de producción de cada cultivo. Como hay diferentes rendimientos, esta variable tiene 3 estados que son diferentes rendimientos en cada cultivo: uno alto, uno medio y uno bajo (Tabla 7.14). Cada estado, corresponde a unos valores (kg/ha).

Tabla 7.14. Estados de "Rendimiento" (tn/ha) en la red bayesiana dinámica.

Estados de Rendimiento (tn/ha)	
1	Rendimientos Altos
2	Rendimientos Medios
3	Rendimientos Bajos

l) Necesidades de riego teóricas de cada cultivo (m^3/ha)

Es el agua que necesitan los cultivos para desarrollarse. Los datos utilizados son las necesidades hídricas teóricas, que se definen como "para un determinado régimen

climático, es el agua total que evapotranspira un cultivo desde su plantación hasta su cosecha, cuando el suelo tiene la humedad adecuada, a través de la lluvia o el riego, para no limitar el crecimiento de la planta ni la cosecha" (Allen *et al.*, 1998). Se han calculado unas necesidades altas, medias y bajas, que son las mismas que en la red bayesisana normal (Ver variable nº 33 del capítulo 5, "Diseño de la red bayesiana: variables del modelo y sus relaciones, y dimensión espacio-temporal").

El cambio climático puede hacer que las necesidades de riego de los cultivos aumenten, principalmente por un aumento de la temperatura. Se han utilizado los mismos datos que en la variable nº 33 del capítulo 5. Sin embargo, en la red bayesiana normal el horizonte temporal era el año 2015, y en cambio en la red bayesiana dinámica es el año 2027. Por tanto, sería esperable que los efectos del cambio climático fuesen mayores en 2027 que en 2015. Como se explica en el apartado 7.4.5, la red bayesiana dinámica se ha dividido en dos periodos, uno que dura los años durante los que se ejecuta el PEAG (que puede durar hasta 2012, 2015 o 2022), y otro hasta 2027. Durante el primer periodo se ha considerado que los efectos del cambio climático no se notan, pero en el segundo periodo si se ha considerado que un cambio climático moderado o severo puede aumentar las necesidades de riego de los cultivos. El porcentaje de aumento se incluye en la tabla 7.15.

Tabla 7.15. Cambio en las necesidades de riego de los cultivos por el cambio climático.
El cambio anual se ha calculado en el capítulo 5 "Diseño de la red bayesiana: variables del modelo y sus relaciones, y dimensión espacio-temporal", y se puede consultar en la Tabla 5.65.

Cambio climático	**Cambio en las necesidades de riego de los cultivos**		
	Anual*	**De 2008 a 2015**	**De 2015 a 2027**
Moderado	+0,37%	=	+5,5%
Severo	+0,75%	=	+11%

m) Recursos renovables (hm^3)

Son los valores que resultan de restar a la Recarga natural del acuífero, las salidas naturales, calculadas con arreglo a la interpretación de Martínez Cortina (2001) y Llamas *et al.* (2001).

Los estados de la variable "Recursos renovables"se pueden ver influidos por el cambio climático, ya que éste puede afectar a la recarga natural. Ambos conceptos han sido definidos en el capítulo 5, "Diseño de la red bayesiana: variables del modelo y sus relaciones, y dimensión espacio-temporal", en la variable nº 44.

Igual que en el apartado anterior, los efectos del cambio climático nulos hasta 2015, y desde entonces, constantes, a partir de los datos y cálculos presentados en el capítulo 5. Dichas consecuencias se presentan en la Tabla 7.16.

Tabla 7.16. Posible cambio en la recarga natural debido al cambio climático.

Cambio climático	**Cambio en la recarga natural**		
	Anual	**De 2008 a 2015**	**De 2015 a 2027**
Moderado	-0,37%	=	-5,5%
Severo	-0,75%	=	-11%

7.4.5 Diseño de la red bayesiana dinámica

Uno de los objetivos de la red bayesiana dinámica es evaluar las consecuencias de aplicar el PEAG a un ritmo lento (15 años), rápido (4 años) o en el plazo planeado (8 años). Por eso se han construido tres redes bayesianas dinámicas distintas:

1) Una red bayesiana dinámica en la que se considera que el PEAG se ejecuta en cuatro años.

2) Una red bayesiana dinámica en la que se considera que el PEAG se ejecuta en ocho años (en la figura 7.8 desde 2008 hasta 2027).

3) Una red bayesiana dinámica en la que se considera que el PEAG se ejecuta en 15 años.

Cada una de ellas está formada por 20 "objetos", también llamados *OON*, y son redes bayesianas que representan el sistema durante un año. Están unidas entre sí por medio de tres enlaces o relaciones, que unen la red de un año con la del siguiente año.

En estas redes bayesianas dinámicas hay dos tipos de "*OON*":

a) El primer tipo de *OON* representa el sistema durante los años en los que hipotéticamente se esté aplicando el PEAG, es decir se utiliza para representar los primeros 4, 8 o 15 años, según la red bayesiana dinámica de que se trate. Se representa en la Figura 7.5.

b) Otro diseño de *OON* representa el sistema una vez que ya se hayan terminado la mayoría de las acciones contempladas en el PEAG, para saber cómo evolucionaría el acuífero una vez que se hayan ejecutado las principales medidas del plan. Es decir, esta *OON* se ha utilizado para representar los últimos 16, 12 o 5 años de las tres redes bayesianas dinámicas (en la figura 7.8 desde 2015 hasta 2027). Esto se ha hecho asumiendo que una vez se termine de aplicar el PEAG, la superficie en regadío va a mantenerse constante. Esto es una simplificación que se hace para evaluar qué efectos tendría el PEAG sobre el acuífero en 2027. Esta segunda *OON* se puede observar en la figura 7.10.

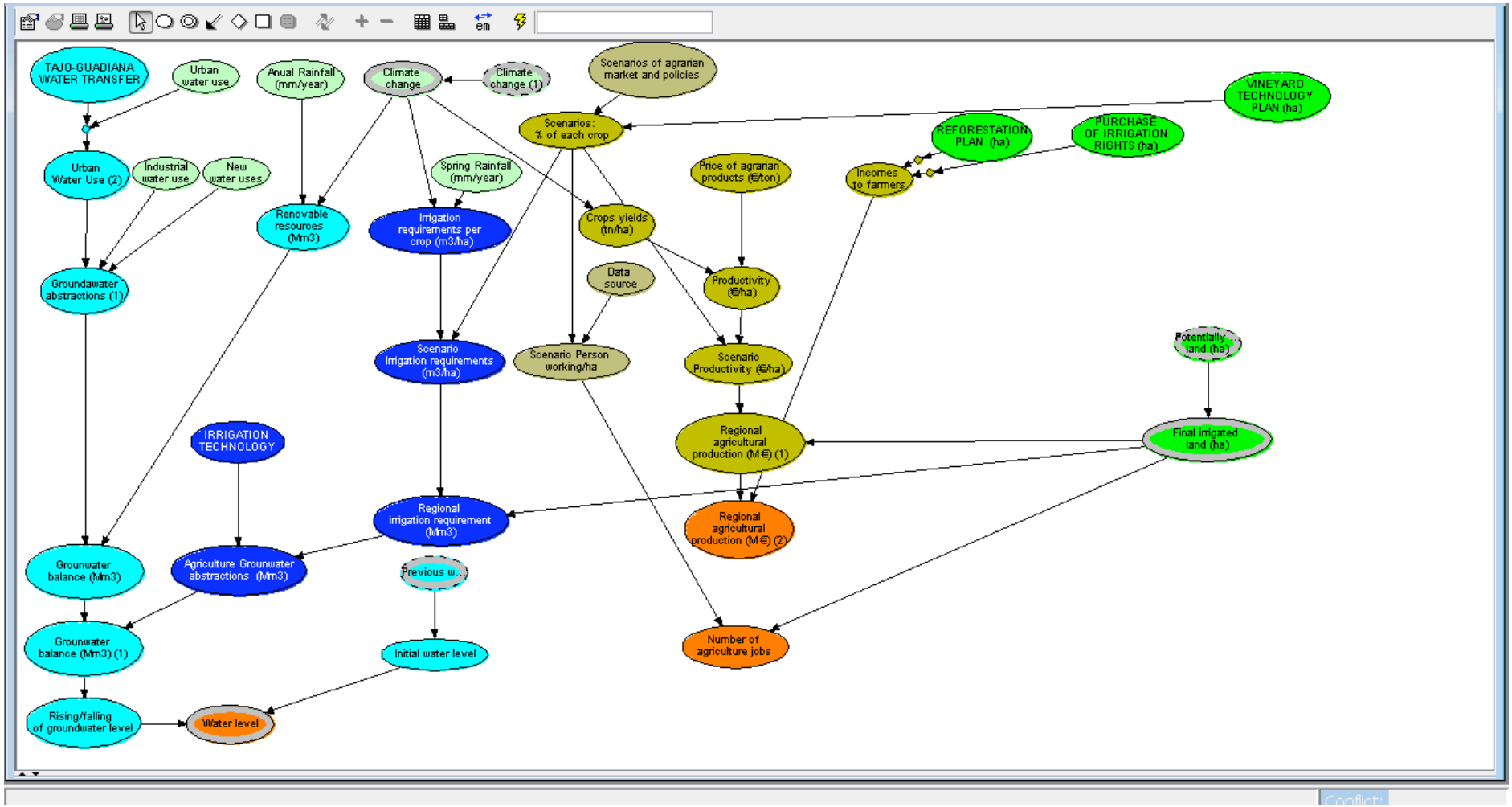


Figura 7.10. Red bayesiana que representa el sistema del acuífero de la Mancha Occidental una vez que se hayan ejecutado las principales medidas del PEAG.

En las *OON* que representan los años en los que se están ejecutando las medidas, las variables que relacionan una *OON* y la del siguiente año son (Figura 7.11):

- La "Superficie final con derechos de uso de agua" de la OON de un año, se relaciona y aporta sus datos a la "Superficie inicial con derechos de uso de agua" de la OON del año siguiente. La superficie final cambia con respecto a la inicial, por la "Compra de derechos de agua" y por el "Plan de forestación".

- La "Superficie final sin derechos de uso de agua" de un año, se relaciona y aporta sus datos a la variable "Superficie inicial sin derechos de uso de agua del año siguiente.

- El "Nivel del acuífero" de la *OON* de un año, se relaciona y es el origen de los datos de la variable "Nivel del acuífero anterior" de la *OON* siguiente.

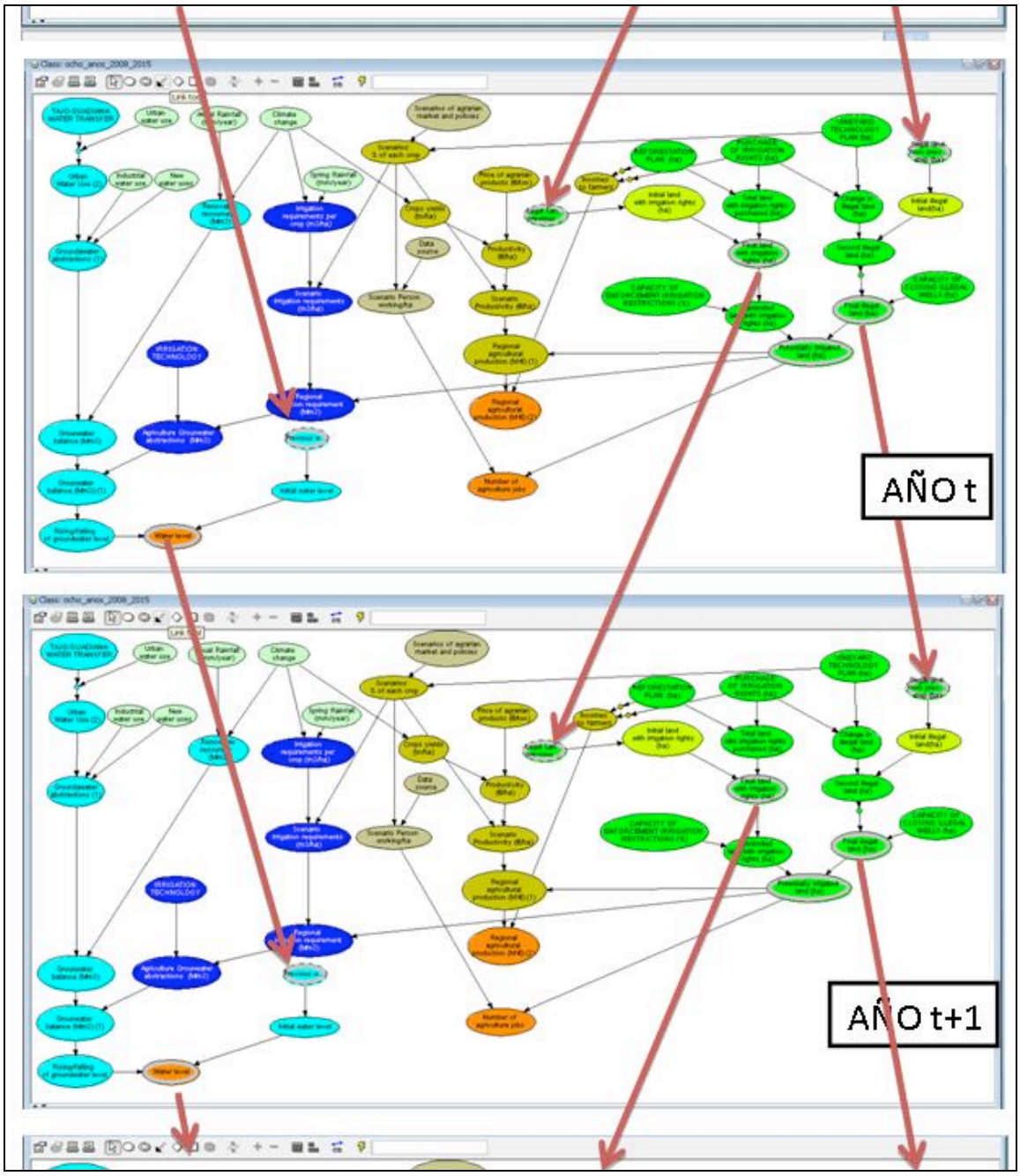


Figura 7.11. Relaciones entre las OON que representan el sistema durante los años en los que se están ejecutando las medidas evaluadas.

Las *OON* que representan el sistema una vez que ya se han ejecutado las medidas, tienen unas relaciones distintas. La principal diferencia es que se han eliminado las variables relacionadas con la reducción de superficie de regadío, ya que se considera que una vez que se haya terminado de ejecutar el PEAG, la superficie de regadío total se va a mantener sin cambiar. De esta forma, la superficie final de regadío (con derechos y sin derechos) tras la ejecución de las medidas principales del PEAG, es transmitida de un año al siguiente mediante un enlace directo, ya que se supone que ésta no va a variar a partir de entonces. La última diferencia es que se ha introducido un enlace entre la variable "Cambio climático" de un año y del siguiente. Por tanto, una vez ejecutadas las medidas evaluadas (diseño b) de la *OON*), las variables que relacionan una *OON* con la siguiente son (Figura 7.12):

- La relación utilizada para saber el nivel freático se mantiene igual que en el otro diseño.

- La "Superficie regable" de un año, se relaciona con la "Superficie regable" del año siguiente.

- El "Cambio climático" de un año, determina el "Cambio climático" del año siguiente.

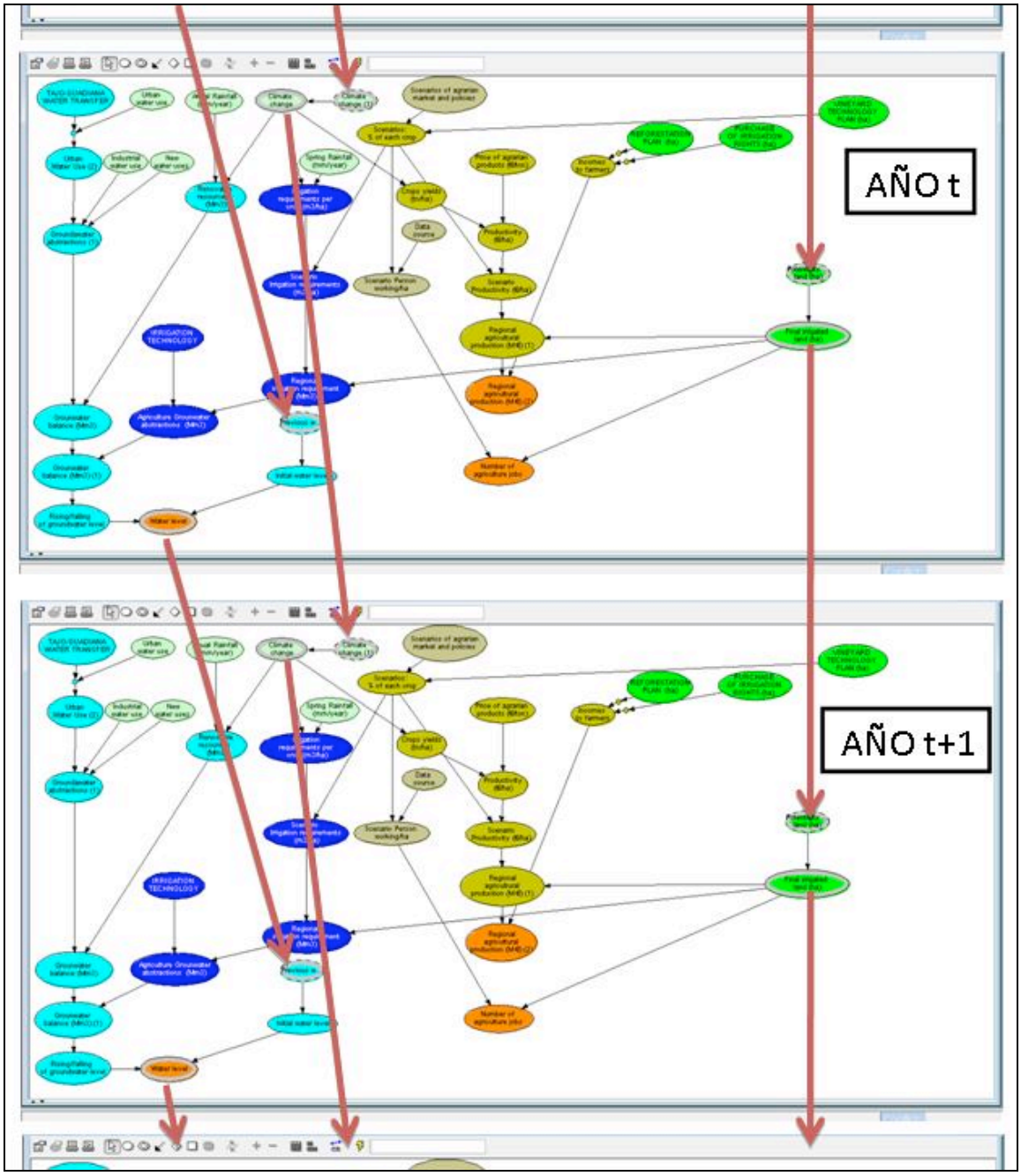


Figura 7.12. Relaciones entre las *OON* que representan el sistema hasta el año 2027, una vez que ya se han ejecutado las medidas evaluadas.

Finalmente, para la unión entre la *OON* del año en el que se terminan de aplicar las medidas evaluadas, y la *OON* del siguiente año, las relaciones son distintas. En este caso sólo hay dos relaciones entre ambas redes bayesianas (Figura 7.13):

- Ya no es necesario saber las superficies con y sin derechos del año anterior, porque ya no va a cambiar. Por tanto, con saber la superficie regable total es suficiente, y dicha relación se ha introducido sustituyendo a las relaciones entre las variables que representan la superficie en regadío con y sin derechos de uso de agua.

- El nivel del acuífero sigue siendo necesario relacionarlo.

- Se considera que el cambio climático empieza a tener consecuencias una vez aplicadas las medidas, por lo que en los años anteriores no se estimaban sus consecuencias, y por lo tanto esta variable no tiene influencia entre estas dos *OON*.

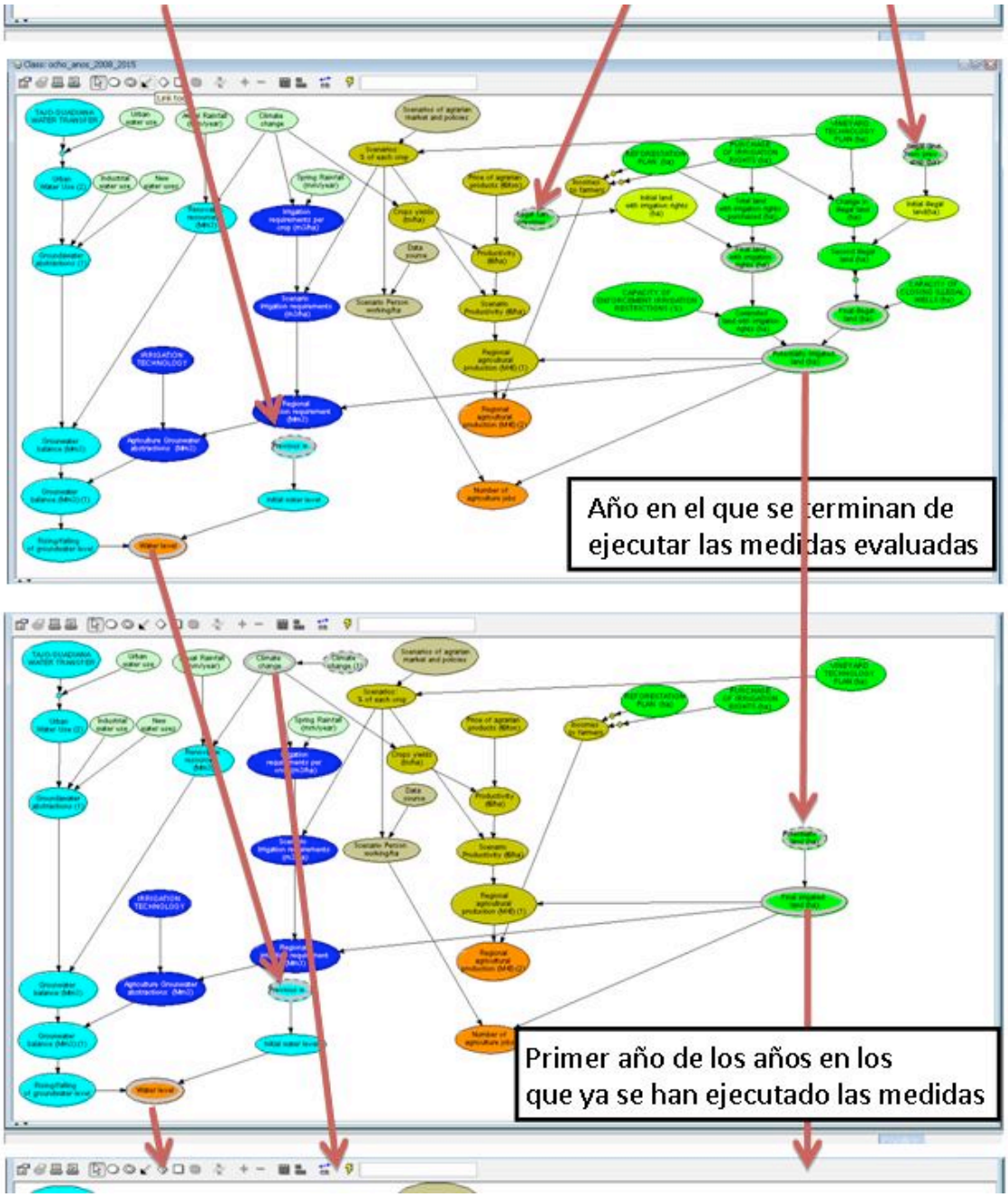


Figura 7.13. Relaciones entre la *OON* que representa el último año en el que se ejecutan las medidas evaluadas, y la *OON* que representa el primer año en el que ya no se ejecuta ninguna medida.

7.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA RED BAYESIANA DINÁMICA

A continuación se explican los principales resultados obtenidos con la red bayesiana dinámica.

7.5.1 Comparación con los resultados de la red bayesiana "normal o no dinámica"

A. Escenarios utilizados para la comparación

Se han comparado los resultados de la red bayesiana dinámica y la normal. Para ello, se han escogido los resultados comparables, que son aquellos en los que se ha tenido en cuenta una superficie actual de regadíos de aproximadamente 130.000 ha, en los que el PEAG se ejecuta en los 8 años planificados, y en el caso más probable de cambio climático (una combinación de los tres posibles estados: cambio climático sin consecuencias, consecuencias moderadas y consecuencias severas). Además, se comparan los resultados para los siguientes tres escenarios (para una explicación completa de los escenarios consultar el apartado 6.2, "Evaluación de diferentes escenarios de aplicaciones del PEAG"):

- Escenario "Situación actual": Es el escenario que representa la situación actual en el acuífero. Por ello se han introducido los datos más actuales de ciertas variables, (por ejemplo, el consumo urbano) y los datos medios de otras (por ejemplo, los "Precios de los productos agrícolas", las "Necesidades de riego de los cultivos" o la pluviometría). Se ha considerado que si no se aplicase el PEAG, la situación seguiría de una forma parecida a la actual, por lo que las medidas del PEAG no se han incluido, ni los efectos del cambio climático.

- Escenario "Ejecución completa del PEAG": Este escenario supone que se han ejecutado de manera completa las medidas del PEAG, para evaluar cómo respondería el sistema a la nueva situación. En este caso se han mantenido todas las variables con el mismo valor que en el escenario anterior (Situación Actual), excepto las variables que representan las 5 medidas del PEAG consideradas en la red. Éstas medidas son: el "Plan de Forestación"; la "Compra de derechos de agua"; el aumento en la capacidad para controlar las extracciones de agua del acuífero, tanto las extracciones en terrenos sin derechos de riego, como las extracciones por encima del Régimen Anual de Extracciones; y por último, las medidas de "Modernización de regadíos".

- Escenario "Ejecución más probable del PEAG": En este escenario los estados y las probabilidades representan el nivel de aplicación del PEAG, que las partes interesadas creen más probable. Por tanto, estos son los resultados más probables de la situación del acuífero según la opinión de las partes interesadas. Los valores más probables de dichas variables se pueden consultar en la Tabla 6.16.

B. Resultados de la red bayesiana dinámica en los escenarios utilizados para su comparación con la red bayesiana normal

Como primer paso para la comparación de los resultados de las dos redes bayesianas, a continuación se explican los resultados de la red bayesiana dinámica en las condiciones explicadas.

En la figura 7.14 y en la tabla 7.17 se puede ver que la ejecución completa del PEAG aumentaría las probabilidades de recuperar el acuífero, es decir, de que el nivel freático estuviese situado entre 0 y -5 metros de profundidad. En cambio, la ejecución que parece más probable (a las partes interesadas consultadas) supondría que el nivel se mantenga a la profundidad actual, o que ascienda ligeramente. Ambas opciones supondrían un descenso de la actividad agraria, a no ser que se cambie el actual sistema agrario. Este descenso supondría una disminución de los empleos agrarios, que bajaría desde los 15.000-20.000 hasta entre 5.000-15.000 (ejecución más

probable) y a menos de 10.000 en el caso de la ejecución completa del PEAG. Por tanto, las medidas de desarrollo socioeconómico del PEAG, así como otras políticas de empleo, deberían absorber a entre 5.000 y 15.000 empleos. La producción regional proveniente de la agricultura también sufriría un descenso, pudiendo llegar a ser menos de la mitad de la actual. Estas consecuencias serían menores, como se ha indicado en otros apartados del estudio, con un cambio en el sistema agrario hacia unos cultivos de mayor calidad y mayores precios, representados en esta región por el olivar, el viñedo u hortícolas, así como posibles nuevos cultivos como el pistacho.

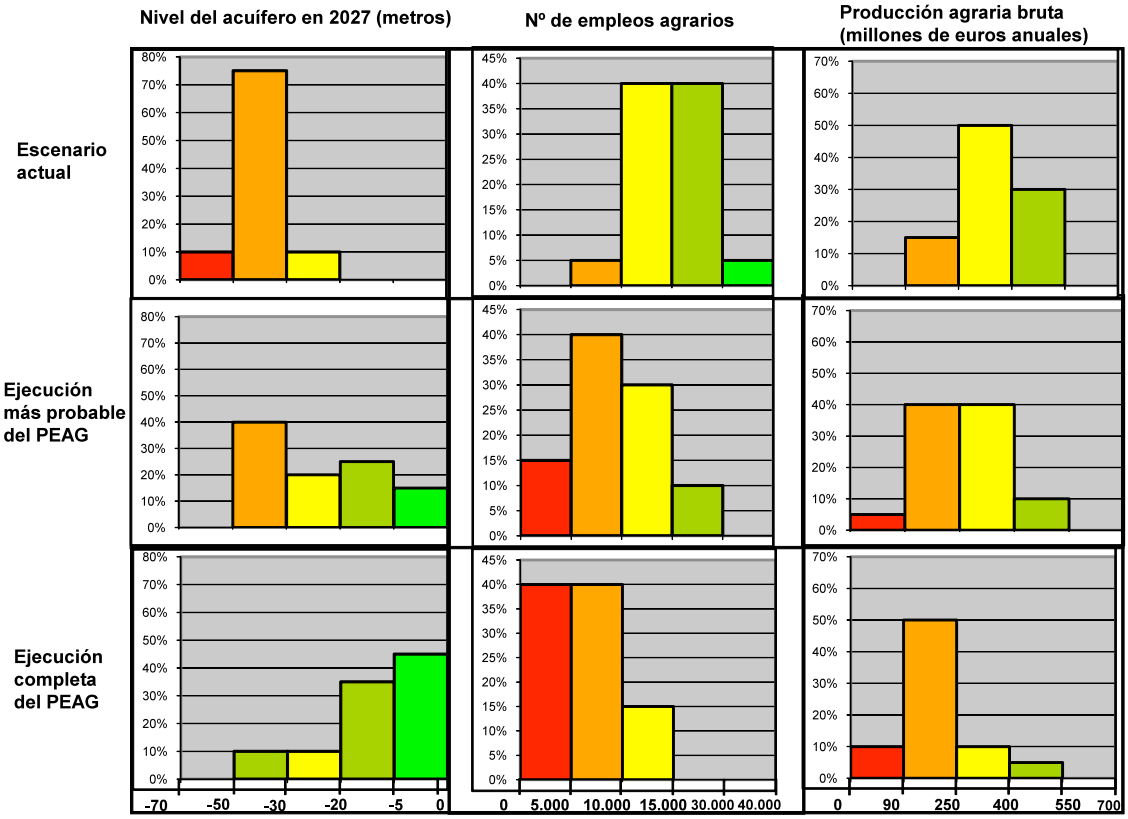


Figura 7.14. Resultados de la red bayesiana dinámica en un escenario concreto: probabilidades de los estados que podrían tomar en el año 2027, teniendo en cuenta una superficie actual de regadíos de aproximadamente 130.000 ha, considerando que el PEAG se ejecuta en los 8 años planificados, y en el caso más probable de cambio climático (una combinación de los tres posibles estados).

Tabla 7.17. Resultados de la red bayesiana dinámica en un escenario concreto: probabilidades de los estados que podrían tomar en el año 2027, teniendo en cuenta una superficie actual de regadíos de aproximadamente 130.000 ha, considerando que el PEAG se ejecuta en los 8 años planificados, y en el caso más probable de cambio climático (una combinación de los tres posibles estados).

Red bayesiana dinámica				
Variables	Valores	Situación actual (escenario base)	Si se aplica en 8 años (supuesto de la red bayesiana normal)	
			Aplicación exitosa del PEAG	Aplicación más probable del PEAG
Nivel del acuífero en 2027	-70/-50	10%	0%	0%
	-50/-30	75%	10%	40%
	-30/-20	10%	10%	20%
	-20/-5	0%	35%	35%
	-5/0	0%	45%	0%
Nº de empleos	0-5.000	0%	40%	0%

agrarios	5.000-10.000 10.000-15.000 15.000-30.000 30.000-40.000	0% 40% 40% 0%	40% 15% 0% 0%	40% 30% 0% 0%
Ingresos anuales (M€)	0-90 Mill. € 90-250 Mill. € 250-400 Mill. € 400-550 Mill. € 550-700 Mill. € 700-850 Mill. €	0% 15% 50% 30% 0% 0%	0% 65% 25% 0% 0% 0%	10% 50% 10% 0% 0% 0%

C. Comparación de la red bayesiana normal y la red bayesiana dinámica

Una vez explicados los resultados de la red bayesiana dinámica, éstos se pueden comparar con los de la red bayesiana normal. Para ello se han representado la distribución de probabilidades de las tres variables objetivo, según los resultados de la red bayesiana normal, y según la red bayesiana dinámica (Figura 7.15).

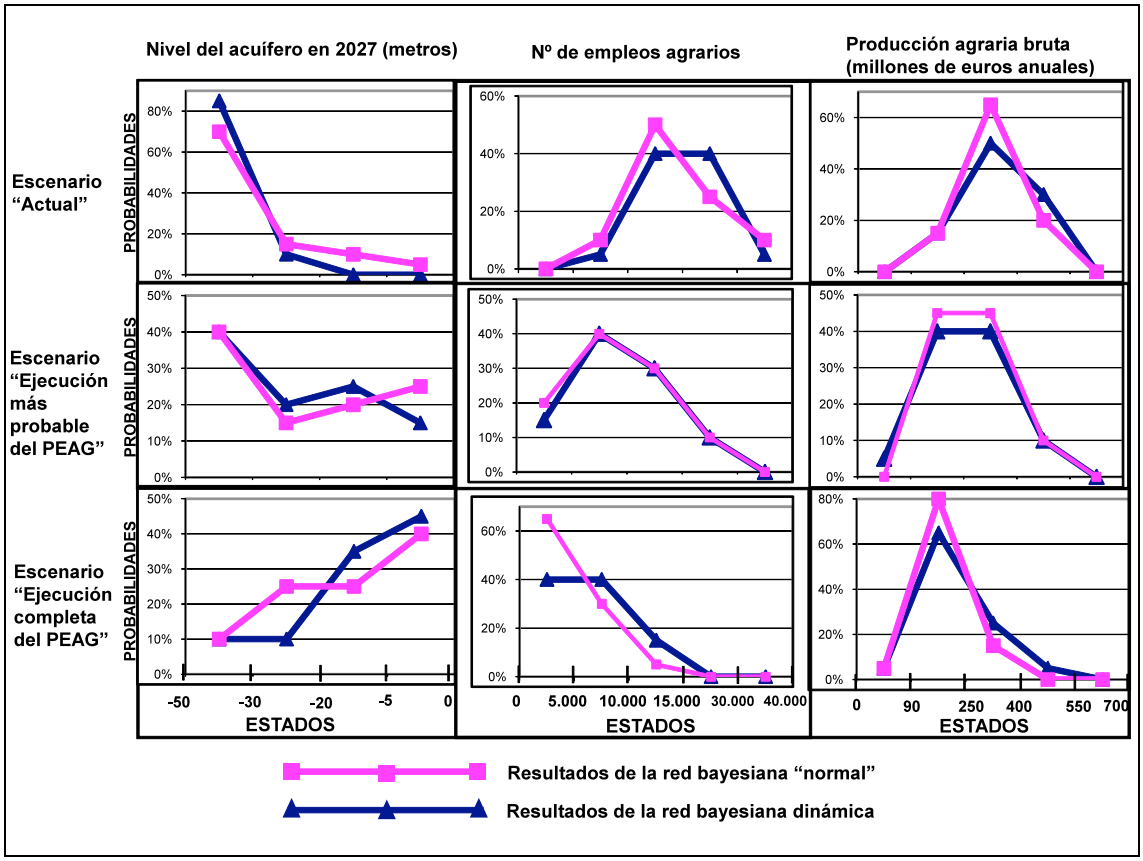


Figura 7.15. Probabilidades de las tres variables objetivo en el año 2027. Resultados de la red bayesiana dinámica y la red bayesiana normal utilizando un escenario que permite su comparación.

En los gráficos de la Figura 7.16 se representan las probabilidades de que las tres variables objetivo estén en un estado u otro. Por ejemplo, la variable "Nivel del acuífero en 2027" en el escenario en el que no se tomara ninguna medida y las extracciones de agua del acuífero supusiesen un volumen parecido al actual ("Escenario actual"), tendría un 85% de probabilidades de estar entre -50 y -30 metros de profundidad según la red bayesiana dinámica, y un 70% de probabilidades en la red

bayesiana normal. De la misma forma, en el escenario en el que el PEAG se ejecute tal y como está planeado ("Ejecución completa del PEAG"), el acuífero se situaría entre -5 y 0 metros de profundidad (es decir, recuperado) con un 45% de probabilidades, según la red bayesiana dinámica, y con un 40% de probabilidades, según la red bayesiana normal.

Comparando los gráficos de los tres escenarios y las tres variables, se observa que los resultados de la red bayesiana dinámica y los de la red bayesiana normal siguen un patrón muy parecido.

Para asegurar que la relación es significativa, se han calculado los coeficientes de correlación entre las distribuciones de probabilidad de todos los escenarios. Es decir, se ha comparado la distribución de las probabilidades de todos los escenarios en cada red bayesiana (normal y dinámica) entre sí (Tablas 7.18-7.20). Dichos coeficientes de correlación muestran que, excepto en un caso, las correlaciones más altas se dan entre las distribuciones de probabilidad correspondientes a los mismos escenarios calculados con los dos métodos. Es decir, que las distribuciones de probabilidad que más se parecen entre sí, son las calculadas para un mismo escenario con ambos métodos. Estos datos confirman la gran similitud entre los resultados de la red bayesiana dinámica y la normal.

La única excepción es el caso del escenario "Ejecución más probable del PEAG" para la variable "Nivel del acuífero en 2027", cuyos coeficientes de correlación máximos, no se dan entre las probabilidades de la red bayesiana normal y la dinámica. Sin embargo, en la Figura 7.16, se ve que las probabilidades de este caso, si son realmente más parecidas entre sí que las probabilidades de otros escenarios. El coeficiente de correlación mide la tendencia que sigue la curva, y en este caso, a pesar de que los datos son parecidos, siguen una tendencia más parecida a las de los "Escenario actual" por cualquiera de los dos métodos (red bayesiana normal o dinámica) que a las del mismo escenario con los dos métodos entre sí, ya que una es ascendente en la parte derecha y otra es descendente (Figura 7.16).

Tabla 7.18. Coeficientes de correlación entre las probabilidades de la variable "Nivel del acuífero en 2027" con la red bayesiana dinámica y la normal.

	Escenario Actual		Ejecución Completa del PEAG		Ejecución más Probable del PEAG	
	Red B. Dinám.	Red B. Norm.	Red B. Dinám.	Red B. Norm.	Red B. Dinám.	Red B. Norm.
Esc.Act.Dinám.	-	**99,77%**	-64,94%	-84,42%	**91,97%**	**88,22%**
Esc.Act.Norm.	**99,77%**	-	-66,51%	-87,65%	**94,28%**	**86,64%**
Ejec.Comp.Dinám.	-64,94%	-66,51%	-	**80,30%**	-60,70%	-21,68%
Ejec.Comp.Norm.	-84,42%	-87,65%	**80,30%**	-	-94,49%	-56,69%
Ejec.+Prob.Dinám.	91,97%	94,28%	-60,70%	-94,49%	-	**78,57%**
Ejec.+Prob.Norm.	88,22%	86,64%	-21,68%	-56,69%	**78,57%**	-

Tabla 7.19. Coeficientes de correlación entre las probabilidades de la variable "Nº de empleos agrarios" con la red bayesiana dinámica y la normal.

	Escenario Actual		Ejecución Completa del PEAG		Ejecución más Probable del PEAG	
	Red B. Dinám.	Red B. Norm.	Red B. Dinám.	Red B. Dinám.	Red B. Norm.	Red B. Dinám.
Esc.Act.Dinám.	-	**88,31%**	-56,00%	-63,99%	6,98%	0,00%
Esc.Act.Norm.	**88,31%**	-	-41,74%	-61,70%	27,71%	20,28%
Ejec.Comp.Dinám.	-56,00%	-41,74%	-	**87,43%**	65,74%	74,64%
Ejec.Comp.Norm.	-63,99%	-61,70%	**87,43%**	-	23,71%	36,62%
Ejec.+Prob.Dinám.	6,98%	27,71%	65,74%	23,71%	-	**99,01%**
Ejec.+Prob.Norm.	0,00%	20,28%	74,64%	36,62%	**99,01%**	-

Tabla 7.20. Coeficientes de correlación entre las probabilidades de la variable "Ingresos anuales (M€)" con la red bayesiana dinámica y la normal.

	Escenario Actual		Ejecución Completa del PEAG		Ejecución más Probable del PEAG	
	Red B. Dinám.	Red B. Norm.	Red B. Dinám.	Red B. Dinám.	Red B. Norm.	Red B. Dinám.
Esc.Act.Dinám.	-	**95,50%**	20,68%	1,72%	65,83%	66,98%
Esc.Act.Norm.	**95,50%**	-	24,35%	4,81%	72,07%	72,72%
Ejec.Comp.Dinám.	20,68%	24,35%	-	**98,03%**	84,54%	84,10%
Ejec.Comp.Norm.	1,72%	4,81%	**98,03%**	-	72,41%	71,95%
Ejec.+Prob.Dinám.	65,83%	72,07%	84,54%	72,41%	**-**	**99,57%**
Ejec.+Prob.Norm.	66,98%	72,72%	84,10%	71,95%	**99,57%**	-

Además, en las Figuras 7.16, 7.17 y 7.18 se puede comparar las distribuciones del Nivel del acuífero, del nº de empleos agrarios y de la producción agraria, en cada uno de los tres escenarios, para la red bayesiana normal y para la dinámica. En ellos se puede ver visualmente que las distribuciones de probabilidad de ambas redes son claramente más parecidos para un mismo escenario que para escenarios distintos.

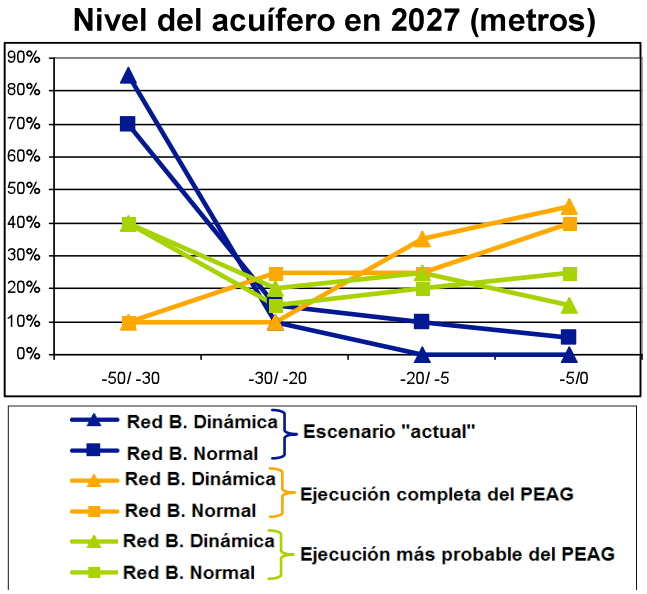


Figura 7.16. Probabilidades de la variable "Nivel del acuífero en 2027". Resultados de la red bayesiana dinámica y la red bayesiana normal utilizando un escenario que permite su comparación.

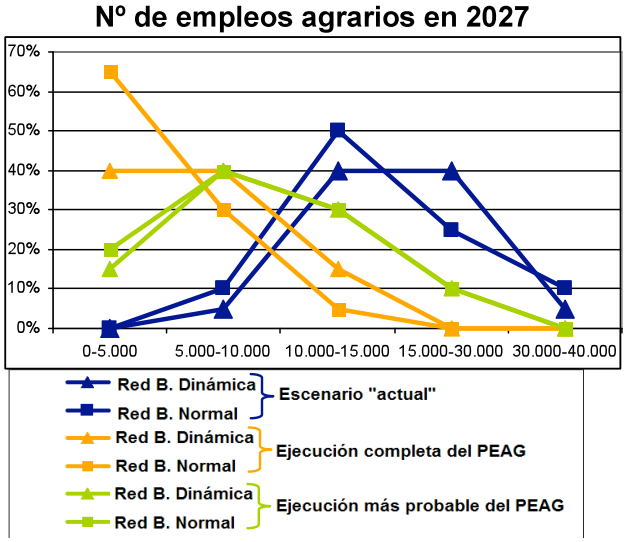


Figura 7.17. Probabilidades de la variable "Nº de empleos agrarios" en el año 2027. Resultados de la red bayesiana dinámica y la red bayesiana normal utilizando un escenario que permite su comparación.

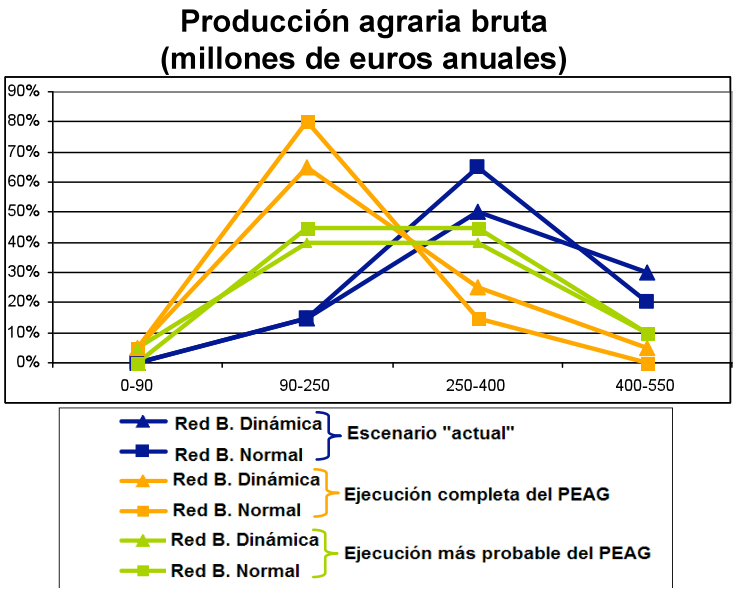


Figura 7.18. Probabilidades de la variable "Ingresos anuales (M€)" en el año 2027. Resultados de la red bayesiana dinámica y la red bayesiana normal utilizando un escenario que permite su comparación.

Por tanto, finalmente se puede concluir que los resultados de la red bayesiana dinámica son similares a los de la red bayesiana normal, si bien, los de la red bayesiana dinámica son ligeramente más optimistas en las tres variables objetivo.

7.5.2 Evaluación de las consecuencias de diferentes ritmos de ejecución del PEAG

Un elemento importante en la gestión del agua del acuífero de la Mancha Occidental es la rapidez con la que se ejecuten las medidas de gestión. Según estudios hidrogeológicos (Martínez Cortina, 2003; CHG, 2008; Martínez Santos *et al.*, 2008-a), el volumen de agua que se ha vaciado el acuífero desde la década de 1970 es tan grande, que se necesita igualmente un gran volumen de agua para que sus niveles suban. Es decir, imaginando la situación en la que la recarga de agua del acuífero fuese mayor que las extracciones, se necesitaría que la recarga fuese mucho mayor a las extracciones durante un cierto periodo de años. Dicho periodo de años será mayor cuando la recarga del acuífero sea pequeña, y será menor cuando la recarga sea muy grande.

Si las medidas evaluadas en la red bayesiana se ejecutan tal y como están planeadas, llegará un momento en el que las entradas de agua al acuífero serán mayores que las salidas (extracciones en su mayoría). A partir de ese momento, el nivel piezométrico del acuífero podría comenzar a subir. Si las medidas se ejecutan en pocos años, el acuífero podría empezar a recuperarse antes; en cambio, si se tarda mucho tiempo en terminar de aplicar las medidas, el acuífero tardará más años en recuperarse.

Se ha considerado interesante utilizar la red bayesiana para evaluar cuáles serían las consecuencias para el acuífero, de que las políticas se ejecutaran rápidamente o lentamente. Sin embargo, algo así no puede simularse con la red bayesiana normal. En cambio, si puede evaluarse con la red bayesiana dinámica. Para ello, como se ha explicado anteriormente, se han construido tres redes bayesianas dinámicas para evaluar las consecuencias sobre el acuífero de tres ritmos diferentes de aplicar las medidas de gestión del agua:

- Una red bayesiana dinámica en la que las medidas se aplican de forma rápida: en sólo 4 años.

- Una red bayesiana dinámica en la que las medidas se aplican de forma media: 8 años (que concuerda con los plazos del PEAG).

- Una red bayesiana dinámica en la que las medidas se aplican lentamente: 15 años.

Los resultados para la recuperación del acuífero de cada una de las tres redes bayesianas se pueden consultar en la Figura 7.19) y se explican a continuación:

- Si no se aplica el PEAG ("Escenario actual"): los resultados de la red bayesiana dinámica muestran que con la superficie, cultivos y tecnologías actuales, en 20 años el nivel de acuífero se situaría a entre treinta y cincuenta menos bajo la superficie, con un 75% de probabilidades.

- Ejecución completa del PEAG: las probabilidades de que el nivel del acuífero estén por encima de los -5 metros en el año 2027 (lo que significaría la práctica recuperación del acuífero), son de un 65% si se ejecutara en 4 años, de un 45% si se ejecuta en 8 años, y de un 30% si tarda en ejecutarse 15 años. Si la aplicación de las medidas evaluadas se retrasa siete años respecto a lo planeado, las probabilidades de que el acuífero esté recuperado en el año 2027 bajan de un 45% a un 30%.

- Ejecución más probable del PEAG: las probabilidades de recuperar el acuífero serían del 30% si se tarda 4 años, del 15% si se tarda 8 años, y del 5% si se tarda 15 años. Si la aplicación de las medidas evaluadas se retrasa siete años, las probabilidades de que el acuífero esté recuperado en el año 2027 bajan de un 15% a un 5%, y las probabilidades de que el nivel del acuífero esté más alto que actualmente bajarían de un 40% a un 30%.

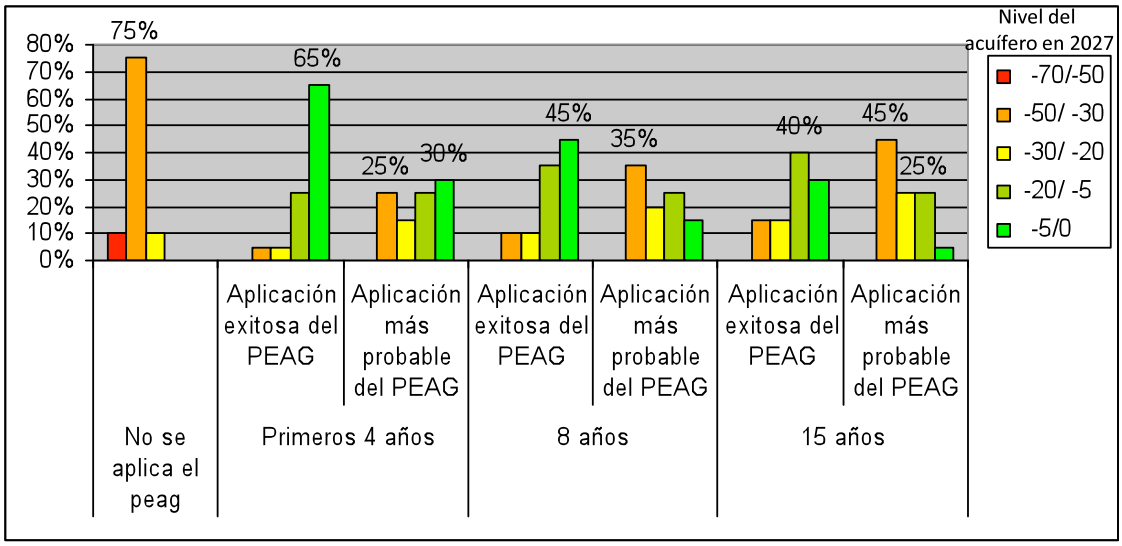


Figura 7.19. Probabilidades que tomaría la variable "Nivel del acuífero en 2027" (metros de profundidad) según el tiempo que se tarde en ejecutar las medidas evaluadas en la red bayesiana dinámica.

Estos resultados indican que la rapidez con la que se ejecuten las medidas contempladas en el PEAG influirán decisivamente en el objetivo marcado por la Directiva Marco del Agua de conseguir el buen estado de todas las masas de agua (es decir, la recuperación del acuífero, según la Confederación Hidrográfica del Guadiana) antes del año 2027. Por tanto, una rápida ejecución es necesaria para aumentar las probabilidades de conseguir dicho objetivo.

7.5.3 Evaluación de las consecuencias que el cambio climático puede tener para la recuperación del acuífero antes del año 2027

Se han evaluado los resultados de las combinaciones anteriores en los tres escenarios de cambio climático: sin consecuencias apreciables, cambio climático moderado, y cambio climático severo.

A partir de los resultados, representados en la tabla 7.21 y en la figura 7.20, se puede concluir lo siguiente:

- El cambio climático tiene menores consecuencias cuando el PEAG se aplica con éxito que cuando se aplica parcialmente. Por ejemplo, pasa del 2% al 5%, en el caso de ejecución del PEAG en 8 años con cambio climático moderado. Esto no ocurre cuando el PEAG se ejecuta en 15 años.

- El cambio climático tiene mayores consecuencias cuando el PEAG se aplica pronto, que cuando se aplica lentamente, porque la recuperación del acuífero es más cercana y por tanto se ve más afectada.

- Se confirma que, como era de esperar, el cambio climático tiene mayores consecuencias cuando es severo que cuando es moderado.

- El cambio climático influirá entre un 2% y un 9% en el nivel que tenga el acuífero en el año 2027. Es decir, si las consecuencias del cambio climático son moderadas en la zona, la probabilidad de que el acuífero se haya recuperado en el año 2027 será un 2% menor que si no hubiera cambio climático. De igual forma, si las consecuencias del cambio climático son más intensas, dicha probabilidad puede descender hasta un 9%.

Tabla 7.21. Porcentajes de diferencia entre las probabilidades de que el nivel del acuífero esté entre 0 y -5 m y entre -50 y -30 m en el año 2027, respecto a un escenario de "Cambio climático sin consecuencias".

130.000 ha	Primeros 4 años				8 años				15 años			
Cambio climático	Moderado		Severo		Moderado		Severo		Moderado		Severo	
Aplicación del PEAG	Exitosa	Más probable	Exitosa	Más probable	Exitosa	Más probable	Exitosa	Más probable	Exitosa	Más probable	Exitosa	Más probable
Diferencia	3%	5%	7%	9%	2%	5%	7%	9%	3%	3%	4%	4%

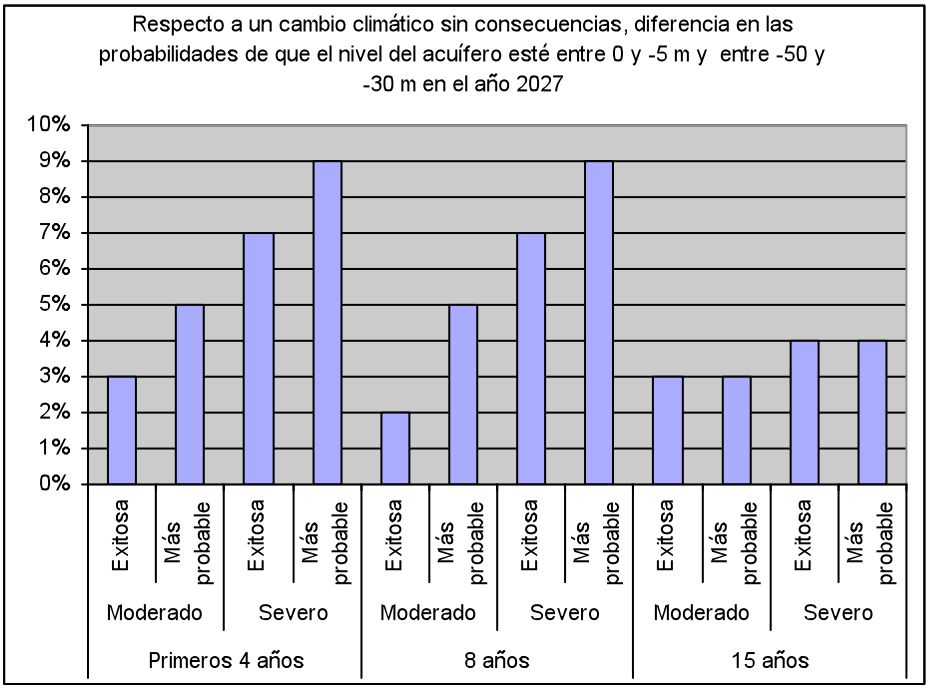


Figura 7.20. En el gráfico se representa la diferencia que habría entre las probabilidades de que el nivel del acuífero esté entre 0 y -5 m y entre -50 y -30 m en el año 2027, respecto a un escenario de "Cambio climático sin consecuencias".

7.6 LIMITACIONES DE LOS MÉTODOS ACTUALES

Shihab y Rashid (2007b) construyeron una red bayesiana dinámica para pronosticar la contaminación y salinización de un acuífero en Oman. También utilizaron la herramienta *Object Oriented Network (OON)* para su experimento, en el que integraban diferentes parámetros para definir la calidad del agua. Su valoración final de la herramienta es positiva, y encuentran ventajas ante otros métodos existentes. Sin embargo, no explican bien las limitaciones u oportunidades de utilizar una red bayesiana que sea dinámica. En cambio, especifican la necesidad y dificultad de definir las tablas de probabilidad condicional (TPCs) y un método para saber cuáles son las TPCs más importantes (el *Sensitivity Analysis*, también empleado en el presente trabajo). Sin embargo, estas conclusiones son aplicables a todas las redes bayesianas y no son específicas de las dinámicas.

Un fallo concreto del programa y la herramienta informática, es que hay que guardar cada caso concreto como un archivo diferente, lo que lo hace poco práctico y operativo.

Inman (2008) identificó que las redes bayesianas dinámicas tienen una limitación importante para ayudar a preparar estrategias de gestión de recursos hídricos: las redes bayesianas dinámicas necesitarían mucho tiempo cada vez que se quisieran cambiar las tablas de probabilidad condicional, o en caso contrario, las redes debían limitarse a 3-5 varibles. Como se ha comprobado en esta tesis, las redes bayesianas dinámicas tienen mucho más potencial del que Inman decía. Con el método *OON*, las modificaciones de las TPCs son relativamente sencillas, y se pueden construir redes bayesianas de hasta 40 variables. Por otra parte, es cierto que todavía queda un gran campo para mejorar las herramientas para construir redes bayesianas dinámicas.

Por tanto, una de las ventajas de hacer una red bayesiana con la herramienta *OON* es que ahorra tiempo al no tener que repetir los cambios en una red para cada paso de tiempo. Pero, al mismo tiempo, se convierte en una limitación para evaluar diferentes ritmos de ejecución de las medidas. Por ejemplo, comprobar los efectos de una ejecución en 7 años, en 9, en 10, etc., requiere calcular nuevos datos y requiere mucho tiempo.

Una limitación que se ha observado en el funcionamiento de las redes bayesianas dinámicas es que no permite simular el sistema como si fuese real. Por ejemplo, no se puede simular que un año sea seco, el siguiente húmedo, etc. Las variables "padre" no cambian con el tiempo, no toman cada año un estado, sino que todos los años toman la misma combinación de sus estados, según sus probabilidades. Esto tiene muchas ventajas pero también la limitación de que no se pueden hacer automáticamente simulaciones aleatorias de la realidad.

Se ha comprobado que al aumentar el número de periodos de tiempo (*time-slices*), las distribuciones de probabilidad de las variables objetivo son cada vez más homogéneas. Es decir, se va perdiendo precisión a medida que se añaden pasos de tiempo. Esto puede deberse a la necesidad de datos más precisos. Este hecho impediría hacer redes bayesianas dinámicas en periodos de tiempo muy largos si no se tienen datos muy precisos.

Otro problema encontrado no se debe a las redes bayesianas dinámicas, si no al mismo concepto de "pronosticar el futuro", es que las incertidumbres, tanto en la agricultura como en la gestión del agua, son tan altas que es muy difícil hacer previsiones que vayan más allá de 10 años. En este caso, la evaluación dinámica se ha extendido hasta 20 años, para adoptar la misma fecha de referencia del año 2027 contenida en la Directiva Marco del Agua, pero teniendo en cuenta que los cambios socioeconómicos que se produzcan a lo largo de este periodo, cambiarán significativamente antes de dicha fecha el sistema estudiado.

7.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 7

El potencial de las redes bayesianas dinámicas es muy grande, porque permite, tanto evaluar sistemas que cambian en el tiempo, como incluir retroalimentaciones en los sistemas representados. La red bayesiana dinámica utilizada en este trabajo ha mostrado que si es posible utilizarlas para representar sistemas en el tiempo.

También ha servido para mostrar las limitaciones de las herramientas informáticas existentes, y que es necesario un mayor desarrollo para hacerlas más flexibles.

Ha servido para comprobar que los resultados son comparables a los de la red bayesiana normal, y para saber que una rápida ejecución del PEAG es importante si se quiere asegurar la recuperación del acuífero de la Mancha Occidental antes del año 2027. También ha permitido comprobar que el cambio climático parece llegar a influir hasta un 9% en la recuperación de los niveles del acuífero antes del año 2027.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

Se considera que habría sido más beneficioso un proceso de participación con menor espacio de tiempo entre las reuniones, como se indicó en el Capítulo 4, "Proceso de participación con las partes interesadas".

8.1 CONCLUSIONES RELATIVAS A LAS REDES BAYESIANAS COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN ADAPTABLE E INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS

1. Se ha probado que las redes bayesianas permiten integrar (poner juntas) variables de las ciencias sociales y naturales, en un mismo sistema de forma holística. Ésta es una considerable ventaja frente a otros sistemas de ayuda a la toma de decisiones cuando se trabaja con problemas complejos y se requiere un marco de trabajo global. Por tanto, las redes bayesianas han demostrado ser una herramienta útil para una gestión integrada del agua.

2. La gestión de los recursos naturales requiere actualmente tanto la adaptación a cambios rápidos, como tener en cuenta las incertidumbres inherentes a la acción humana. Las redes bayesianas permiten hacer explícitas las incertidumbres que hay en el sistema a gestionar. A través de la asignación de probabilidades a cada variable, es posible visualizar y detectar lagunas e incongruencias en el conocimiento del problema analizado. De esta forma, las redes bayesianas contribuyen a gestionar las incertidumbres de forma racional.

3. La red bayesiana construida puede ser actualizada con nuevos datos a medida que se disponga de ellos en el futuro, para disminuir las incertidumbres que contiene actualmente. Además, las variables objetivo de la red bayesiana se pueden utilizar como indicadores del éxito del Plan Especial del Alto Guadiana (PEAG). Por ambas razones, sería una herramienta útil para realizar una gestión adaptativa activa de los recursos hídricos en el acuífero de la Mancha Occidental.

4. Este trabajo ha permitido hacer una evaluación probabilística del PEAG, integrando las opiniones de los grupos interesados en la gestión del agua. Se ha procurado la objetividad y la imparcialidad, tanto en el proceso de participación como en la construcción de la red bayesiana, aunque es inevitable una cierta interpretación propia del autor.

5. La evaluación del proceso de participación por parte de los grupos de interés ha confirmado que las redes bayesianas son una buena herramienta para incorporar las opiniones y los valores de las partes interesadas en la toma de decisiones, para estructurar y desarrollar procesos de participación, para guiar reuniones, para discutir sobre temas complejos, y para que los distintos actores mejoren su conocimiento del problema a solucionar y de la opinión de las demás partes interesadas.

6. En trabajos anteriores sobre redes bayesianas descritos en el capítulo 3, se observa que, al involucrar a las partes interesadas en la construcción de las redes bayesianas, los participantes aceptan más fácilmente las decisiones basadas en sus resultados. En este caso, sin embargo, una parte de los

participantes mostraron cierto escepticismo hacia los resultados alcanzados con la red bayesiana. Esto puede deberse a la limitada participación de algunas partes interesadas en la construcción de la red y a las comprensibles reticencias para aceptar un sistema que tiene en cuenta intereses y opiniones que no se comparten.

Sin embargo, los participantes han valorado como útiles la información que proporciona la red bayesiana, las diferentes simulaciones que se han hecho con ella, y los resultados generales alcanzados. Por tanto, si se confirma que, tras un proceso de participación, los grupos de interés valoran de forma positiva la red bayesiana construida.

7. Para futuros trabajos, sería muy interesante permitir a las partes interesadas el acceso directo a los datos y a la propia red bayesiana. Esto se podría hacer a través de Internet, con lo que podrían consultar los datos introducidos, proporcionar nuevos datos, e incluso modificar temporalmente la red bayesiana para evaluar los distintos escenarios posibles. De esta forma, se conseguiría incrementar la introducción de datos y variables adicionales por parte de los distintos interesados, mejorar su conocimiento del problema y aumentar su nivel de confianza en los resultados de la red.

8. La utilización de las redes bayesianas de forma dinámica, mediante la utilización de la herramienta *Object Oriented Bayesian Network* se ha mostrado sencilla y eficaz en el sistema estudiado. Además, se considera que podría ser utilizable también para construir relaciones de retroalimentación, que es una de las limitaciones más importantes que se detectan en las redes bayesianas normales.

9. Las conclusiones anteriores demuestran que las redes bayesianas son una herramienta apropiada para ayudar a tomar decisiones en la gestión de recursos naturales, y especialmente para organizar procesos de participación. Por lo tanto, se ven como un método apropiado y útil para el proceso de aplicación de la Directiva Marco del Agua.

8.2 CONCLUSIONES RELATIVAS A LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL ACUÍFERO DE LA MANCHA OCCIDENTAL

En primer lugar, es necesario mencionar que reducir las extracciones del acuífero manteniendo los beneficios socioeconómicos que éstas proporcionan actualmente, es un problema muy complejo, que necesita no sólo diferentes acciones por parte de la administración hidráulica, sino también la colaboración de todos los implicados. Además, factores externos, como los cambios en la Política Agraria Comunitaria o las decisiones de la Organización Mundial del Comercio limitarán las posibilidades de acción de los grupos de interés en la gestión del agua del acuífero de la Mancha Occidental. En segundo lugar, hay que decir que, en el mejor de los casos, la recuperación del acuífero será lenta y a largo plazo, en el supuesto de que dichas actuaciones y colaboraciones se produzcan. Los resultados de la red bayesiana no son deterministas, porque influyen muchos factores que se interrelacionan de forma compleja, entre las que intervienen factores políticos, económicos, sociales, etc. No hay soluciones "mágicas", si no que será necesaria más participación, más negociación, y cambios en los cultivos y en las actividades productivas.

1. Una conclusión importante que se obtiene a partir de los resultados de la red bayesiana del acuífero de la Mancha Occidental, es que sólo si se aplicara completamente y en el plazo previsto (2015) el Plan Especial del Alto Guadiana (PEAG), el acuífero podría recuperarse antes de 2027. Es decir, en la situación actual (sin PEAG), y a menos que los escenarios futuros la cambien de forma significativa, es muy probable que hasta dentro de 20 el agua del acuífero no suba al nivel registrado en 1984, cuando el acuífero alimentaba a los ríos y a los humedales de la zona.

   Adicionalmente puede decirse que la aplicación de sólo una medida cualquiera del PEAG no resultaría efectiva. Por ejemplo, aunque se compren todos los derechos posibles de uso de agua, las extracciones de agua subterránea no se reducirían lo suficiente si no se consigue también controlar los pozos ilegales y las extracciones por encima de las cuotas permitidas.

   La capacidad del Consorcio creado para gestionar el PEAG y para aplicar sus medidas, depende en gran parte de los fondos que finalmente haya disponibles para su ejecución. Tanto la movilización de dichos fondos como su correcta utilización dependen de la voluntad política, que se convierte así en el primer gran condicionante para la futura recuperación del acuífero.

2. Un segundo gran condicionante son los cambios futuros en los mercados agrarios y en las políticas agrarias, que, como en el pasado, tendrán grandes consecuencias en las extracciones de agua futuras.

   Los cultivos con mayor productividad económica y con el mayor número de trabajos directos e indirectos asociados por cada gota de agua usada, son los cultivos hortícolas y los leñosos (viñedo y olivar). Los cereales son los que más bajos índices tienen en ambos aspectos. Estas diferencias en términos económicos y de trabajos generados sugieren que una recuperación del acuífero viable desde el punto de vista socioeconómico podría conseguirse mediante la reducción de la superficie de cereales regados. De hecho, los resultados del escenario socioeconomico extremo, demuestran que una solución en la que "todos ganen", implicaría reducir drásticamente los cereales regados y mantener, sin aumentarla, la superficie actual de los cultivos más rentables, como hortícolas o leñosos regados.

   El olivar y el viñedo son capaces de utilizar más agua verde (lluvia en el suelo), y son los que consumen menos volumen de agua de riego por superficie. Desde el punto de vista de la "ecohidrología", la mejor opción de cultivo en regadío para el acuífero de la Mancha Occidental serían el viñedo y el olivar.

   Probablemente, el fomento y la promoción a gran escala de los cultivos de secanos de calidad podrían contribuir de manera sustancial a la recuperación del acuífero. Los grandes fondos disponibles en el PEAG se podrían utilizar para: a) concienciar a los consumidores de la calidad de los productos de la Mancha; b) concienciar a los consumidores de los beneficios ecológicos directos y asociados de los productos de secano y ecológicos; c) en el caso de que el nivel del acuífero empiece a recuperarse, utilizar la restauración de los humedales como incentivo para los consumidores ecológicos y para el turismo rural; d) financiar cursos de agricultura ecológica de calidad y de comercialización de productos

agrarios; e) financiar la agricultura de secano y la industria manufacturera asociada.

3. Un tercer condicionante principal será la aceptación o acuerdo, seguimiento y colaboración de la sociedad. Si se cuenta con la voluntad de los actores principales para perseguir los objetivos del PEAG y la recuperación del acuífero, estas políticas tendrán aseguradas su éxito. Una gestión racional del acuífero sólo puede hacerse con la colaboración de los usuarios del agua y de todos los actores interesados en su gestión. Por ejemplo, es imprescindible la colaboración y participación de las comunidades de regantes en la gestión del PEAG.

4. Los resultados de la red bayesiana indican que reducir el consumo de agua del acuífero de una manera sustancial requiere que se reduzca la superficie regada. La eficiencia de riego actual es considerablemente elevada, y su mejora, aunque necesaria, no es suficiente para conseguir la recuperación del acuífero. El cambio de cultivos con necesidades de agua más elevadas a otros menos consumidores tampoco puede, por si solo, cambiar de manera sustancial la situación de los niveles piezométricos. El volumen total de las extracciones está relacionado principalmente con la extensión total de la superficie en regadío, que, por tanto, tiene que disminuir si se quiere recuperar el acuífero.

5. La ejecución de las medidas para reducir la superficie de regadío, lleva acompañada una reducción de hasta un 50% del número de agricultores y de la producción agraria. Como se ha explicado en la conclusión nº 2, la variación de la producción y del número de trabajadores agrícolas dependerá del tipo de cultivo en regadío que se elimine y de los que se mantengan o aparezcan.

   Es importante remarcar que las previsiones realizadas en la red bayesiana se basan sólo en las medidas del PEAG que pueden tener una incidencia más directa sobre el acuífero. Es esperable que otras acciones no contempladas en la red, como por ejemplo las medidas de acompañamiento del PEAG, creen nuevos puestos de trabajo y nuevos ingresos. Por tanto, los en el número de agricultores y en la producción agraria pueden servir para estimar la cantidad de empleos e ingreso económico que las medidas de acompañamiento deberían generar para mantener el nivel socioeconómico actual. Por eso, los efectos reales de la aplicación del PEAG deberían ser más optimistas que los resultados concernientes a las variables "Número de agricultores" y "Producción agraria" de este trabajo.

6. En relación a la compra de derechos de uso de agua contemplada en el PEAG, se ha detectado una gran diferencia entre la superficie potencialmente regable o que se ha regado alguna vez (260.000 ha), y la regada realmente en la actualidad (probablemente unas 130.000 ha). Esto implica que mucha superficie con derechos realmente no se riega. La CHG estima que hay 175.000 ha con derechos de riego, y esta es la superficie elegible para la compra-venta de derechos. En el PEAG se propone comprar entre 50.000 ha y 80.000 ha. Si se usa la cifra anterior para realizar los cálculos, después de la compra prevista por el PEAG quedarían entre 125.000 y 95.000 ha con derechos de riego. Sin embargo, los estudios mediante imágenes de satélite sugieren que realmente se riegan sólo 100.000 ha con derechos. Si estas estimaciones basadas en la teledetección son correctas, pueden verificarse dos situaciones:

a) Que se compren derechos de uso de agua sólo de tierras con derechos, y que además actualmente se estén regando. En este caso, podrían llegar a quedar sólo entre 50.000 ha y 20.000 ha con derechos, superficie llamativamente pequeña. Una posible forma para comprar derechos de uso de agua que estén utilizándose actualmente, podría ser, además de comprobar que los pozos tienen agua (método usado actualmente y que en ocasiones puede fallar), sería que los agricultores también prueben que han cultivado en regadío esas tierras durante los últimos tres años.

b) Que se compren hectáreas que realmente no se están regando aunque tengan derechos, por lo que después de haber comprado los derechos de tanta superficie, se seguirán regando las mismas hectáreas que actualmente (entre 125.000 ha y 95.000 ha). En este caso, la compra de dichos derechos no significaría ningún ahorro de agua, aunque permitiría eliminar la posibilidad de que dicha superficie pueda volver a regarse en el futuro. Sin embargo, cabe plantearse si merece la pena utilizar una cantidad de dinero tan elevada (810 millones de euros de la "Adquisición administrativa de derechos de uso de agua" más 1.185 millones del "Plan de forestación") para conseguir este objetivo, es decir, para conseguir que los que ahora no riegan, tampoco lo hagan en el futuro.

7. Las redes bayesianas has permitido detectar lagunas e incongruencias en los datos y en el conocimiento de los problemas del acuífero. Entre ellas destacan:

    a. La variable más difícil de cuantificar e introducir en la red bayesiana ha sido la aplicación del Régimen Anual de Extracciones (RAE). Esto se debe, fundamentalmente, a la falta de datos: no se sabe cuántos agricultores lo aplican, no se conoce qué volumen exceden los que no lo cumplen, etc.

    b. Se ha detectado la escasa definición de las medidas incluidas en el PEAG de reconversión socioeconómica, de apoyo a actividades tradicionales, etc. No ha sido posible introducir los efectos de dichas medidas en la red bayesiana porque en el PEAG no se establecen objetivos concretos para ellas.

    c. Se han encontrado grandes diferencias entre los datos de los trabajos consultados, incluso en informes de una misma institución. Un ejemplo de ello es el uso que se hace de las dotaciones de consumo de agua por hectárea: ara calcular las extracciones totales en el acuífero, se utilizan unas dotaciones u otras para los mismos cultivos, obteniendo así los mismos volúmenes extraídos a pesar de que se usen valores muy dispares para la superficie regada (ver conclusión 6). Por tanto, es necesario aumentar la transparencia de los datos que utiliza cada institución u organización, para mejorar la comunicación entre ellas y, en definitiva, para acercarse a la solución del problema.

8. La consecución de un uso más racional del acuífero es un objetivo de gran interés no sólo para el medio ambiente, sino también para los agricultores y para todas las administraciones. El descenso de los niveles piezométricos ha provocado la desaparición de muchos humedales. Si el descenso llega a ser mayor, parte de los pozos se secarán, como de hecho, ya ha ocurrido, afectando

a la capacidad de los agricultores de seguir con su actividad. Además, la existencia de espacios protegidos con alto valor ecológico suele conllevar beneficios económicos para la agricultura local, ya que esta puede acceder a numerosas oportunidades de ayudas y subvenciones.

9. Una posible solución podría ser un trasvase desde otra cuenca. Sin embargo, si previamente no hay más transparencia y más control en la gestión de los recursos hídricos, esta opción podría incluso empeorar el estado del acuífero ya que podría conllevar el aumento de las extracciones.

10. La instalación de plantas de generación de energía con tecnología termo-solar puede ser un tema importante que haya que tener en cuenta. La importancia hidrológica de esta industria no debería llegar a ser muy significativa desde el punto de vista de las extracciones, ya que podría llegar a suponer entre un 5% y un 10% del agua que se extrae en el acuífero. Sin embargo, podrían influir en la "Adquisición administrativa de derechos de uso de agua", ya que, al parecer, estas industrias están dispuestas a pagar a los agricultores 3.000 €/año, por cada hectárea con derechos de uso de agua, durante 20 años, cifra bastante mayor que el precio ofrecido por la administración para su compra.

11. Las consecuencias del cambio climático sobre la recuperación del acuífero antes del año 2027, serán de menor importancia que las medidas propuestas en el PEAG, o que los cambios en las políticas y mercados agrarios. Sin embargo, sería muy positivo organizar un seguimiento para evaluar, con mayor conocimiento, las consecuencias concretas en la región en los próximos años.

BIBLIOGRAFÍA

Abelson, J., Forest, P.G., Eyles, J., Smith, P., Martin, E. and Gauvin F.P. (2003). Deliberations about deliberative methods: issues in the design and evaluation of public participation processes. Social Science & Medicine, 57(2): 239-251.

ADENA. (1996). Humedales Manchegos en peligro por la gestión del agua en la Cuenca Alta del Guadiana. Informe Técnico. Adena-WWF. pp: 29.

Alcamo, J., Moreno, J.M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E., Shvidenko, A. (2007). Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC) Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van der Linden, P.J. and Hanson, C.E. Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580. http://www.ipcc.ch

Aldaya, M.M. and Llamas, M.R. (2008). Water Footprint analysis (hydrologic and economic) of the Guadiana river basin within the NeWater project. Complutense University of Madrid (UCM). Department of Geodynamics. Internal report of the NeWater Project.

Aldaya, M.M., Llamas, M.R., Garrido, A. and Varela, C. (2008) Importancia del conocimiento de la huella hidrológica para la política española del agua. Encuentros Multidisciplinares, 10 (29): 8-20.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy.

Ames, D.P. (2002). Bayesian decision networks for watershed management. Dissertation for the PhD in Civial and Environmental engineering. Utah State University. Logan, Utah, 2002. pp: 250.

Ames, D.P. and Neilson, B.T. (2001). A Bayesian Decision Network Engine for Internet-Based Stakeholder Decision-Making. In: Phelps, D. And Sehlke, G. 2001. Proceedings of the World Water and Environmental Resources Congress May 20-24, 2001, Orlando, Florida. Bridging the Gap: Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges. American Society of Civil Engineers. Copyright © 2001, ASCE. (http://emrc.usu.edu/tmdl/ineel/papers/ames_asce.pdf).

Ames, D.P., Neilson, B.T., Stevens, D.K. and Lall, U. (2005). Using Bayesian networks to model watershed management decisions: an East Canyon Creek case study. Journal of Hydroinformatics, 7 (4): 267-282.

Andersen, D. F., Vennix, J. A., M. Richardson G.P. and Rouwette, E.A.J.A. (2007). Group Model Building: Problem Structuring, Policy Simulation and Decision Support. Journal of the Operational Research Society, 58 (5): 691-694.

Anderson, J.L. (1998). Embracing uncertainty: The interface of Bayesian statistics and cognitive psychology. Conservation Ecology [online] 2(1):2. http://www.consecol.org/vol2/iss1/art2/

Arnstein, S.R. (1969). A Ladder Of Citizen Participation. Journal of the American Planning Association, 35 (4): 216-224.

Audsleya, E., Pearna, K.R., Simotab, C., Cojocarub, G., Koutsidouc, E., Rounsevelld, M.D.A., Trnkae, M. and Alexandrovf, V. (2006). What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not?. Environmental Science & Policy, 9: (2) 148-162.

Ayala-Carcedo, F. (2000). Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en España y viabilidad del Plan Hidrológico Nacional 2000. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. Informe inédito. pp: 17.

Babovic, V., Drecourt, J., Keijzer, M. and Hansen, P.F. (2002). A data mining approach to modelling of water supply assets. Urban Water, 4: 401–414.

Bacon, P.J., Cain, J.D. and Howard, D.C. (2002). Belief network models of land manager decisions and land use change. Journal of Environmental Management, 65: 1–23. doi:10.1006/jema.2001.0507, available online at http://www.idealibrary.com.

Bacon, P.J., Cain, J.D., Kozakiewicz, M., Brzezinski M. and Liro, A. (2002). Promoting more sustainable rural land use and development: a case-study in eastern Europe using Bayesian Network Models. Journal of Environmental Assessment Policy and Management, 4 (2): 199–240.

Baran, E., Jantunen, T. and Chheng, P. (2006). Developing a Consultative Bayesian Model for Integrated Management of Aquatic Resources: an Inland Coastal Zone Case Study. En: Hoanh, C.T., Tuong, T.P., Gowing, J.W. and Hardy, B. (Eds). Environment and Livelihoods in Tropical Coastal Zones. CAB International 2006, Wallingford, Reino Unido. pp: 206-218.

Barton, D.N., Saloranta, T., Moe, S.J., Eggestad, H.O. and Kuikka, S. (2008). Bayesian belief networks as a meta-modelling tool in integrated river basin management. Pros and cons in evaluating nutrient abatement decisions under uncertainty in a Norwegian river basin. Ecological Economics, 66: 91–104.

Batchelor, C. and Cain, J. (1999). Application of belief networks to water management Studies. Agricultural Water Management, 40: 51-57.

Beierle, T.C. (1998). Public Participation in environmental decisions: an evaluation framerwork using social goals. Resources for the Future. Discussion paper 99-06. Washington, EEUU.

Beierle, T.C. and Konisky, D.M. (2000). Values, Conflict and Trust in Participatory Environmental Planning. Journal of Policy Analysis and Management 19(4): 587-602.

Beniston, M., Stephenson, D.B., Christensen, O.B., *et al*. (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. Climatic Change, 81 (1): 71-95.

Bergkamp, G. and Cross, K. (2006). Groundwater and Ecosystem Services: towards their sustainable use. International Symposium on Groundwater Sustainability (ISGWAS). 24 Enero 2006 - 27 Enero 2006. Alicante, España. pp: 17.

Bindi, M., Moriondo, M. (2005). Impact of a 2°C global temperature rise on the Mediterranean region: Agriculture analysis assessment. In : Giannakopoulos, C., Bindi, M., Moriondo, M., Le Sager, P. & Tin, T. (2005). Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise, WWF Report, pp: 54-66.

Bormann, B.T., Cunningham, P.G., Brookes, M.H., Manning, V.W. and Collopy, M.W. (1993). Adaptive ecosystem management in the Pacific Northwest. U.S. Forest Service, General Technical Report PNW-GTR-341. Estados Unidos. pp: 22.

Borsuk, M.E. (2004). Predictive assessment of fish health and fish kills in the Neuse River estuary using the elicited judgment of scientific experts. Human & Ecological Risk Assessment, 10: 415-434.

Borsuk, M.E., Stow, C.A., Higdon, D. and Reckhow. K.H. (2001a). A Bayesian hierarchical model to predict benthic oxygen demand from organic matter loading in estuaries and coastal zones. Ecological Modelling, 143: 165-181.

Borsuk, M.E., Clemen, R.T., Maguire, L.A. and Reckhow, K.H. (2001b). Stakeholder values and scientific modeling in the Neuse River watershed. Group Decision and Negotiation, 10: 355-373.

Borsuk, M.E., Stow, C.A. and Reckhow, K.H. (2004). A Bayesian network of eutrophication models for synthesis, prediction, and uncertainty analysis. Ecological Modelling, 173: 219-239.

Borsuk, M. E., Reichert, P., Peter, A., Schager, E and Burkhardt-Holm, P. (2006). Assessing the decline of brown trout (Salmo trutta) in Swiss rivers using a Bayesian probability network. Ecological Modelling, 192: 224-244.

Boyen, X. and Koller, D. (1998). Approximate learning of dynamic models. In NIPS-11, 1998. pp: 396-402.

Bromley, J. (2005). MERIT Project Guidelines. Management of the Environment and Resources using Integrated Techniques. Guidelines for the use of Bayesian networks as a participatory tool for Water Resource Management. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK, 2005. pp: 118.

Bromley, J., Jackson, N., Giacomello, A.M., Acreman, M.C. and Bradford, R.J. (2002). Participatory development of Bayesian networks as an aid to integrated water resource planning. Proceedings of the International Conference on Policies and Tools for Sustainable Water Management in the European Union, Venice, November 2002.

Bromley, J., Jackson, N.A., Clymer, O.J., Giacomello, A.M., and Jensen, F.V. (2005). The use of Hugin® to develop Bayesian networks as an aid to integrated water resource planning. Environmental Modelling & Software, 20 (2): 231-242.

Borsuk, M.E., Clemen, R.T., Maguire, L.A. and Reckhow, K.H. (2001). Stakeholder Values and Scientific Modeling in the Neuse River Watershed. Group Decision and Negotiation, 10: 355-373.

Burgess, J. and Chilvers, J. (2006). Upping the ante: a conceptual framework for designing and evaluating participatory technology assessments. Science and Public Policy, 33(10): 713-728.

Cain, J., (2001). Planning improvements in natural resource management: Guidelines for using Bayesian networks to support the planning and management of development programmes in the water sector and beyond. Centre for Ecology and Hydrology, CEH. Wallingford. Reino Unido. pp: 124.

Cain, J.D., Batchelor, C.H., Waughray, D.K.N. (1999). Belief networks: A framework for the participatory development of natural resource management strategies. Environment, Development and Sustainability, 1: 123–133

Cain, J.D., Jinapala, K., Makin I.W., Somaratha, P.G., Ariyaratna, B.R. and Perera, L.R. (2003). Participatory decision support for agricultural management. A case study from Sri Lanka. Agricultural Systems, 76 (2): 457-482.

Carmona, G. (2008). Elaboración de un sistema de soporte a la toma de decisiones para la gestión adaptable de los recursos hídricos. Aplicación a la Cuenca del Alto Guadiana. Memoria para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Inédito. pp: 138.

Carmona, G. and Varela-Ortega, C. (2007). Integration of bayesian networks and agro-economic models as a decision support system for water management in the Upper Guadiana Basin. Extended abstract submitted for CAIWA 2007: International Conference on Adaptive & Integrated Water Management. Coping with complexity and uncertainty. Basel, November 2007. CD-ROM.

Casado, M. (1996). Contribución al estudio de la recarga natural en el sistema acuífero de los Llanos de Albacete. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. pp: 244.

Castelletti, A. and Soncini-Sessa, R. (2007a). Bayesian Networks and participatory modelling in water resource management. Environmental Modelling & Software, 22: 1075-1088.

Castelletti, A. and Soncini-Sessa. R. (2007b). Coupling real-time control and socio-economic issues in participatory river basin planning. Environmental Modelling & Software, 22: 1114-1128.

Castelletti, A., Pianosi, F. and Soncini-Sessa, R. (2008). Integration, participation and optimal control in water resources planning and management. Applied Mathematics and Computation, 206: 21–33.

CEDEX (1997). Estudio sobre el impacto potencial del cambio climático en los Recursos Hídricos y Demandas de Agua de Riego en Determinadas Regiones de España. Informe Técnico para el Ministerio de Medio Ambiente de España. Madrid. pp: 56.

Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr A. and Whetton, P. (2007). Regional Climate Projections. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M and Miller, H.L. (Eds). (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Coleto, C., Martínez Cortina, L. y Llamas, M.R. (Editores). (2003). Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana. Fundación Marcelino Botín, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. pp: 352.

Comisión Europea, CE. Dirección General de Medio Ambiente. (2006). Participación ciudadana en relación con la Directiva Marco del Agua. Documento guía nº 8 de la Estrategia Común de Implantación de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE). Bakeaz, Bilbao. Traducción de: CEC (Commission of the European Communities). 2003. Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC). Guidance Document No 8 Public Participation in Relation to the Water Framework Directive Produced by Working Group 2.9 – Public Participation. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Comisión Europea, CE. (2007). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo. Preparándose par el «chequeo» de la reforma de la PAC. COM (2007) 722 final. Bruselas, 20.11.2007.

Commission of the European Communities, CEC. (2003). Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC). Guidance Document No 8 Public Participation in Relation to the Water Framework Directive Produced by Working Group 2.9 – Public Participation. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo.

Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG). (1995). El problema hidráulico de la Cuenca Alta del Guadiana. Informe técnico.

Confederación Hidrográfica del Guadiana, (CHG). (2006a). Análisis económico de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana según la Directiva Marco del Agua (Junio 2006). Oficina de Planificación Hidrológica. Tomo 4. Caracterización socioeconómica del uso agrícola y Ganadero. Disponible en: http://planhidrologico2009.chguadiana.es/

Confederación Hidrográfica del Guadiana, (CHG). (2006b). Análisis económico de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana según la Directiva Marco del Agua (Junio 2006). Oficina de Planificación Hidrológica. Tomo 5. Tendencias pasadas y escenarios 2015. Uso Agrícola y Ganadero. Disponible en:
http://planhidrologico2009.chguadiana.es/

Confederación Hidrográfica del Guadiana, (CHG). (2006c). Análisis económico de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana según la Directiva Marco del Agua (Junio 2006). Oficina de Planificación Hidrológica. Trabajos sobre los Artículos 5, 6 y 7 de la

Directiva Marco del Agua (DMA) en la cuenca del Guadiana y en el ámbito complementario de las cuencas del Tinto, Odiel y Piedras Disponible en: http://planhidrologico2009.chguadiana.es/

Confederación Hidrográfica del Guadiana, CHG. (2008). Real Decreto 13/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el Plan Especial del Alto Guadiana (PEAG). Ministerio de Medio Ambiente. BOE No. 21, 24 enero 2008. Disponible en: http://www.chguadiana.es.

Confederación Hidrográfica del Guadiana, CHG. (2009). Situación hidrogeológica en la Unidad 04.04: Mancha Occidental. Campaña Junio 2008. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaría de Estado de Medui Rural y Agua. Dirección General de Agua. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Disponible en: http://www.chguadiana.es.

Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de Castilla-La Mancha. (2003). Orden de 19-03-2003, de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, por la que se regula la presentación, concesión y gestión de ayudas a los planes de reestructuración y/o reconversión del viñedo de Castilla-La Mancha. Publicada en el DOCM 49, si lo pones así, debes incluirlo en la lista de abreviaturas de Fecha 07/04/2003, (Fecha Disposición 19/03/2003). Página real 5258, Página del Diario 21[95871].
http://www.jccm.es/cgi-bin/edocm.php3?CARPETA=97000
http://www.jccm.es/agricul/paginas/ayudas/agricultura/vinedo.htm

Correa, J. (2007). Análisis de los resultados del foro de diálogo de PI en la gestión del agua de la CARG. Informe inédito. Cemagref. Montpelier, pp: 13.

Croke, B.F., Ticehurst, J.L. Letcher, R.A., Norton, J.P., Newham, L.T.H. and Jakeman. A.J. (2007). Integrated assessment of water resources: Australian experiences. Water Resource Management, 21: 351-373.

Crome, F.H.J., Thomas, M.R. and Moore. L.A. (1996). A novel Bayesian approach to assessing impacts of rain forest logging. Ecological Applications, 6: 1104–1123.

Cruces, J., Casado, M., Llamas, M.R., De la Hera, A., Martínez Cortina, L. (1997). El desarrollo sostenible de la cuenca alta del río Guadiana: aspectos hidrológicos. Revista de Obras Públicas. No. 3.362. Febrero 1997. pp: 7-18.

Cruces, J. y Martínez Cortina, L. (2000). La Mancha Húmeda. Explotación intensiva de las aguas subterráneas en la cuenca alta del río Guadiana. Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas, Fundación Marcelino Botín, Serie A, nº 3. pp: 66.

Custodio, E. y Llamas, M.R. (1976). Hidrología subterránea. 2 Volúmenes. 2ª Edición. Editorial Omega, S.A. ISBN 84-282-0446-2. Barcelona. pp: 2350.

Charniak, E. (1991). Bayesian networks without tears. AI Magazine, 12(4): 50-63.

Chong, H.G. and Walley, W.J. (1996). Rule-based versus probabilistic approaches to the diagnosis of faults in wastewater treatment processes. Artificial Inteligence in Engineering, 1: 265-273.

Dagum, P. and Galper, A. (1993). Forecasting sleep apnea with dynamic network models. En: Proceedings of the 9th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI'93), pp: 64-71. Washington, D,C., Morgan Kaufmann, San Francisco, C.A.

Dean, T. and Kanazawa, K. (1989). A model for reasoning about persistence and causation. Computational Intelligence, 5: 142-150.

De Campos Ibáñez, L.M., Huete Guadix, J.F. y Fernández Luna, J.M. (2001). Un modelo de recuperación de información basado en redes bayesianas. Procesamiento del Lenguaje Natural Nº 27. pp: 131-138.1135-5948.
http://biblioteca.universia.net/ficha.do?id=35523733

De la Hera, Á. (1998). Análisis hidrológico de los humedales de la "Mancha Húmeda" y propuesta de restauración de un humedal ribereño: El Vadancho (Toledo). Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. pp: 350.

De la Hera, Á. (2003). Caracterización de los humedales de la cuenca alta del Guadiana. pp: 165-196. En: Coleto, C., Martínez Cortina, L., Llamas, M.R. (Eds.) 2003. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana. Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. pp: 352.

Dewulf, A., Craps, M., Bouwen, R. and Pahl-Wostl, C. (2005). Integrated management of natural resources dealing with ambiguous issues, multiple actors and diverging frames. Water Sci Technol, 52 (6): 115–124.

DOCE (Diario Oficial de la Unión Europea). (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. DOCE nº 327: 1-73, de 22 de diciembre de 2000. Bruselas.

Döll, P. (2002). «Impact of Climate Change and variability on Irrigation Requirements: A Global Perspective». Climate Change, 54: 269-293.

Domínguez, A. (2004). Gestión integrada de los recursos hídricos de la unidad hidrogeológica Mancha Oriental mediante la utilización de redes bayesianas. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla la Mancha, Albacete. pp: 206.

Eden, C. (2004). Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems. European Journal of Operational Research 159(3): 673-686.

Eden, C. and Ackermann, F. (2000). Mapping distinctive competencies: a systemic approach. Journal of the Operational Research Society, 51(1): 12-20.

Europena Environment Agency (EEA). (2005). «Vulnerability and adaptation to climate change in Europe». EEA Technical Report, No. 7/2005. pp: 82.

Einsiedel, E.F., Jelsoe, E. and Breck, T. (2001). Publics at the technology table: The consensus conference in Denmark, Canada, and Australia. Public Understanding of Science, 10(1): 83-98.

Ellison, A.M. (1996). An introduction to Bayesian inference for ecological research and environmental decision-making. Ecological Applications, 6: 1036– 1046.

Esnaola, J.M. (1991). Análisis de las aportaciones superficiales al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel y su influencia en la evolución hidrogeológica del ecosistema. Tesis de licenciatura. Universidad Complutense de Madrid. pp: 61.

Esnaola, J.M. (en prensa). Contribución al conocimiento de la geometría de los acuíferos de la Mancha Occidental y sus condiciones de contorno. Título provisional. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

Espluga, J. y Subirats, J. (2008). Participación ciudadana en las políticas de agua en España. En Del Moral, L. and Hernández-Mora, N. Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas. Fundación Nueva Cultura del Agua. (CD Rom) ISBN-13: 978-84-691-0027-1. Enero 2008, Sevilla.

European Commission, EC. (2003). Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC). Guidance Document No 8. Public Participation in Relation to the Water Framework Directive Produced by Working Group 2.9 – Public Participation. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

European Commission, EC. (2007). Directorate-General For Agriculture And Rural Development. Directorate G. Economic analyses and evaluation. G.5 Agricultural trade policy analysis. Agricultural Commodity Markets. Outlook 2007-2016. A comparative analysis of projections published by Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) & Food and Agriculture Organisation (FAO), Food and Agricultural Policy Research Institute (FAPRI), US Department for Agriculture (USDA) and European Commission (EC AGRI G.2). 31 July 2007.

European Commission, EC. (2007). "Prospects for agricultural markets and income 2006-2014", published in July 2007.
(http://ec.europa.eu/agriculture/publi/caprep/prospects2007a/index_en.htm).

European Commission, EC (2008). Directorate-General for Agriculture and Rural Development. March 2008. Prospects for agricultural markets and income in the European Union 2007 – 2014.

Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.J. and Leemans, R. (2005). Future scenarios of European agricultural land use:. Estimating changes in crop productivity. Agriculture, Ecosystems and Environment, 107: 101-116.

Falkenmark, M. (2003) Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 358 (1440): 2037–2049.

Farmani, R., Henriksen, H.J. and Savic, D. (2009). An evolutionary Bayesian belief network methodology for optimum management of groundwater contamination. Environmental Modelling & Software, 24: 303–310.

Fernández Carrasco, P., (2002). Estudio del Impacto del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos. Aplicación de diecinueve cuencas en España. Tesis Doctoral. E.T.S.

de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. pp: 267.

Flato, G.M., Boer, G.J., Lee, W.G., McFarlane, N.A., Ramsden, D., Reader, M.C., and Weaver, A.J. (2000). The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis Global Coupled Model and its Climate. Climate Dynamics, 16: 451-467.

Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling C.S. and Walker, B. (2002). Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformations. Ambio, 31: 437–440.

Food and Agricultural Policy Research Institute (FAPRI). (2007). FAPRI's Agricultural Outlook 2007. Published in March 2007. Estados Unidos. pp: 76. http://www.fapri.iastate.edu/brfbk07/.

Fornés, J.M. (1994). Hidrología de algunas lagunas de Castilla-La Mancha. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. pp: 315.

Fornés, J.M., de la Hera, A. and Llamas, M.R. (2005). The silent revolution in groundwater intensive use and its influence in Spain. Water Policy, 7: 253-268.

Fornés, J., Rodriguez, J. A., Hernández, N. and Llamas, M. R. (2000). Possible Solutions to Avoid Conflicts Between Water Resources Development and Wetland Conservation in the "La Mancha Húmeda" Biosphere Reserve (Spain). Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere, 25 (7-8): 623-627.

Friedman, N., Murphy, K. and Russell, S. (1998). Learning the structure of dynamic probabilistic networks. In UAI, 1998. pp: 9.

García Carretero, M. (2003). Situación legal de las aguas subterráneas en la cuenca alta del Guadiana. pp: 103-144. En: Coleto, C., Martínez Cortina, L., Llamas, M.R. (Eds.) 2003. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana. Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. pp: 352.

García Rodríguez, M. (1996). Hidrogeología de las Tablas de Daimiel y de los Ojos del Guadiana. Bases hidrogeológicas para una clasificación funcional de humedales ribereños. Tesis Doctoral. Enero de 1996. Universidad Complutense de Madrid. pp: 413.

Gertner, G.Z. and Zhu, H. (1996). Bayesian estimation in forest surveys when samples or prior information are fuzzy. Fuzzy Sets and Systems, 77: 277–290.

Ghahramani, Z. (1997). Learning dynamic bayesian networks. En: Giles, C.L. and Gori, M. Editors, Adaptive Processing of Sequences and Data Structures. International Summer School on Neural Networks "E.R. Caianiello" Vietri sul Mare, Salerno, Italy September 6–13. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer- Verlag, 1997. pp: 168.

Ghazoul, J. and McAllister, M. (2003). Communicating complexity and uncertainty in decision making contexts: Bayesian approaches to forest research. International Forestry Review, 5 (1): 9–19.

Giannakopoulos, C., Bindi, M., Moriondo, M. and Tin, T. (2005). Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2º global temperature rise. A report for WWF.

Giorgi, F., Marinucci, M.R. and G.T. Bates. (1993). Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I Boundary layer and radiative transfer processes. Monthly Weather Review, 121: 2794-2813.

Global Water Partnership (GWP). (2000). Technical Advisory Committee (TAC). Background Papers, Nº 4. Integrated Water Resource Management. cepis.ops-oms.org. http://www.cepis.ops-oms.org/bvsarg/i/fulltext/tac4/tac4.pdf

González Monterrubio, J.M. (1992). Análisis hidrogeológico de la sobreexplotación y protección de humedales en la ley de aguas de 1985. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. pp: 365.

Gordon, C., Cooper, C., Senior, C.A., Banks, H.T., Gregory, J.M., Johns, T.C., Mitchell, J.F.B. and Wood R.A. (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. Climate Dynamics, 16: 147-168.

Guariso, G. and Werthner, H. (1989). Environmental Decision Support Systems. Ellis Horwood Publications, Chichester, UK. pp: 240.

Gunderson, L.H., Holling, C.S. and Light, S.S. Editors. (1995). Barriers and bridges to the renewal of ecosystems and institutions. Columbia University Press, New York, New York, USA. pp: 593.

Global Water Partnership, GWP. (2000). Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Plans by 2005. Why, What and How? TEC Background Papers No. 10. Global Water Partnership, Stockholm. pp: 45.

Haas, T.C. (1991). A Bayesian belief network advisory system for aspen regeneration. Forest Science, 37: 627–654.

Hare, M., Letcher, R.A. and Jakeman, A.J. (2003). Participatory Modelling in Natural Resource Management: A Comparison of Four Case Studies. Integrated Assessment, 4(2): 62-72.

Hart, B., Pollino, C., Chan, T., Grace, M., Mautner, N., Cocklin, C., Walshe, T., Burgman, M., Beilin, R., Fox, D., Westbury, A.M., Tiller, D. and Putt, C. (2006). Delivering Sustainability through Risk Management, Summary. Report to National Program for Sustainable Irrigation (NPSI) by Water Studies Centre, Monash University, Clayton, Victoria.

Heckerman, D. (1997). Bayesian networks for data mining. Data Mining and Knowledge Discovery, 1: 79-119.

Hein, L.G., Koppen, C.S.A. van, Groot, R.S. de, Ierland, E.C. van. (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. Ecological Economics, 57 (2): 209 - 228.

Henriksen, H.J., Rasmussen, P., Brandt, G., Bülow, D.V. and Jensen, F.V. (2004a). Engaging stakeholders in construction and validation of Bayesian belief network for groundwater protection. Proceedings of the International Federation of Automatic Control: Workshop on Modelling and Control for Participatory Planning and Managing Water Systems. Venecia, 2004. pp: 13.

Henriksen, H.J., Rasmussen, P., Brandt, G., Bülow, D.V., Jørgense, L.F. and Nyegaard, P. (2004b). Test of Bayesian belief network and stakeholder involvement. Julio 2004. © Ministry of Environment. Geological Survey of Denmark and Greenland, GEUS. Øster Voldgade 10. DK-1350 Copenhagen K. Dinamarca. pp: 177.

Henriksen, H.J., Kjær, K., Brüsh, W., Jacobsen, L.B., Jensen, J.D., Grinderslev, D. and Andersen, P. (2007a). Environmental benefits and social cost – an example of combining Bayesian networks and economic models for analysing pesticide management instruments. Nordic Hydrology, 38 (4-5): 351-371.

Henriksen, H. J., Rasmussen, P., Brandt, G., Von Bülow, D. and Jensen, F. (2007b). Public participation modelling using Bayesian networks in management of groundwater contamination. Environmental modelling and software, 22(8): 1101-1113.

Henriksen, H. J., Rasmussen, P., Bromley, J., de la Hera, A. and Llamas, M.R. (2007c). Bayesian belief networks as a tool for participatory integrated assessment and adaptive groundwater management: the Upper Guadiana Basin, Spain. GEUS, 2007. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 13, 69–72. www.geus.dk/publications/bull.

Henriksen, H.J., and Barlebo, H.C. (2008). Reflections on the use of Bayesian belief networks for adaptive management. Journal of Environmental Management, 88 (4): 1025-1036.

Hernández-Mora, M. (2007). Participación pública en la gestión de las aguas subterráneas: Visión desde la sociedad civil. Artículo en: Jornadas de la Asociación Internacional de hidrogeólogos-Grupo Español "Las aguas subterráneas en España ante las directivas europeas: retos y perspectivas". Noviembre, 2007, Santiago de Compostela, España.

Hobbs, B.F., Ludsin, S.A., Knight, R.L., Ryan P.A., Biberhofer, J. and Ciborowski, J.J.H. (2002). Fuzzy Cognitive Mapping as a Tool to Define Management Objectives for Complex Ecosystems. Ecological Applications, 12(5): 1548-1565. http://www.jstor.org/stable/3099990.

Holling, C.S. (Ed.). (1978). Adaptive Environmental Assessment and Management. John Wiley and Sons, New York. pp: 377.

Hugin Expert A/S. (2008). Hugin Researcher, version 6.9. User´s Guide, Aalborg, Dinamarca. Edición digital. Disponible en Internet: file:///C:/Program%20Files/Hugin%20Expert/Hugin%20Researcher%206.9/htmlhelp/index.htmlb

Iglesias, A., Estrela, T, and Gallart, F. (2005). Impactos sobre los recursos hídricos. En: Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático, Moreno, J.M (Ed.). Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España, 303–353.

Inman, D. (2008). Doctor of Philosophy Dissertation: The use of Bayesian networks to facilitate implementation of water demand management strategies. Supervisor: Dr. Paul Jeffrey. School of Applied Sciences. Cranfield University, 2008. pp: 297.

Instituto Geológico y Minero de España, (IGME). (1980). Investigación hidrogeológica de la Cuenca Alta y Media del Guadiana. Colección Informe, Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas. pp: 66.

Instituto Geológico y Minero de España, (IGME). (1985). Síntesis hidrogeológica Castilla la Mancha. Instituto Geológico y Minero de España. Servicio de Publicaciones, M.I.E., Madrid.

Instituto Nacional de Estadística, INE. (1999). Censo Agrario Español.

Instituto Nacional de Estadística, INE. (2008). Entorno físico. Climatología. http://www.ine.es

Instituto Nacional de Meteorología, INM (2007). Informe de progreso de la primera fase del proyecto de generación de escenarios regionalizados de cambio climático. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. pp: 17.

Intergovernmental Panel on Climate Change, Special Report on Emission Scenarios, IPCC, SRES. (2001). Special Report on Emission Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible en: http://sres.ciesin.org.

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2007). Climate Change (2007). Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Core Writing Team, Pachauri, R.K., Reisinger, A. y Equipo principal de redacción (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza. pp: 115.

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2008). Bryson, B. *et al*. IPCC Technical Paper on Climate Change and Water. (Finalized at the 37th Session of the IPCC Bureau). Budapest, 9-10 April 2008. IPCC-XXVIII/Doc.13 (8.IV.2008).

Jakeman, A.J. and Letcher, R.A. (2003). Integrated assessment and modelling: features, principles and examples for catchment management. Environmental Modelling & Software, 18 (6): 491-501.

Janakarajan, S. (2004). A snake in the grass! Unequal power, Unequal Contracts and Unexplained Conflicts: Facilitating Negotiations over Water Conflicts in peri-urban catchments. Paper Presented at the conference on Market Development of Water & Waste Technologies through Environmental Economics, 28th-29th May 2004, Paris. pp:23.

Jensen, F., Jensen, F.V. and Dittmer, S.L. (1994). From influence diagrams to juntion trees. En: Proceedings of the 10th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (Mántaras, R.L. and Poole, D., Eds). Morgan Kaufmann, San Francisco, pp: 367-373.

Jensen, F.V. (1996). An introduction to Bayesian Networks. UCL Press 1996, London, Reino Unido.

Jensen, F.V. and Nielsen, T.D. (2007). Bayesian Network and Decision Graphs. Second Edition. Information Science and Statistics. Springer Science + Bussiness Media, LLC. New York (EEUU). pp: 276.

Johns, T.C., Carnell, R.E., Crossley, J.F., Gregory, J.M., Mitchell, J.F.B., Senior, C.A., Tett, S.F.B. and Wood, R.A. (1997). The second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: model description, spinup and validation. Climate Dynamics, 13: 103-134.

Jones, P.D., Lister, D.H., Jaggard, K.W. and Pidgeon, J.D. (2003). Future climate impact on the productivity of sugar beet (Beta vulgaris L.) in Europe. Climatic Change, 58, 93-108.

JuanValero, J.A., Ortega Álvarez, J.F., Tarjuelo Martín-Benito, J.M. (2003). Sistemas de cultivo. Evaluación de itinerarios técnicos. Mundi-Prensa.

Kersten, G.E., Mikolajuk, Z. and Gar-On Yeh, A. (Eds.) (1999). Decision Suport Systems for sustainable development: a resource book of methods and applications. Springer. pp: 440.

Khan, M.S. and Quaddus, M. (2004). Group Decision Support Using Fuzzy Cognitive Maps for Causal Reasoning. Group Decision and Negotiation, 13(5): 463-480.

Kim, S., Imoto, S. and Miyano, S. (2004). Dynamic Bayesian network and nonparametric regression for nonlinear modeling of gene networks from time series gene expression data. BioSystems, 75: 57–65.

Kjærulff, U. (1995). dHugin: a computational system for dynamic time-sliced Bayesian networks. International Journal of Forecasting, Volume 11, Issue 1, Pages 89-111.

Kjaerulff, U.B. and Madsen, A.L. (2008). Bayesian Networks and Influence Diagrams. A Guide to Construction and Analysis. Springer. New Cork, USA.

de Kok, J.L., Titus, M. and Wind, H.G. (2000). Application of fuzzy sets and cognitive maps to incorporate social science scenarios in integrated assessment models. A case study of urbanization in Ujung Pandang, Indonesia. Integrated Assessment, 1(3): 177-188.

Koller, D. and Pfeffer, A. (1997). Object-Oriented Bayesian Networks. En: Proceedings of the Thirteenth Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-97), pages 302-313, Providence, Rhode Island, August 1-3, 1997.

Kuenzer, A., Schlick, C., Ohmann, F., Schmidt, L., and Luczak, H. (2001). An empirical study of dynamic Bayesian networks for user modeling. In: Schafer, R., Muller, M. E.,

Macskassy, S. A. (eds.): Proc. of the UM'2001 Workshop on Machine Learning for User Modeling (2001). pp: 1–10.

Kuikka, S. and Varis, 0. (1997). Uncertainties of climatic change impacts in Finnish watersheds: a Bayesian network analysis of expert knowledge, Boreal Environm. Res., 2: 109-128.

Kuikka, S., Hildén, M., Gislason, H., Hansson, S., Sparholt, H. and Varis, O. (1999). Modeling environmentally driven uncertainties in Baltic cod (Gadus morhua) management by Bayesian influence diagrams. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 56: 629-641.

Kumar, N.D. and Maity, R. (2008). Bayesian dynamic modelling for nonstationary hydroclimatic time series forecasting along with uncertainty quantification. En: Hydrological Processes, 22 (17). pp: 3488-3499.

Kundzewicz, Z.W., Mata, L.J., Arnell, N.W., Döll, P., Kabat, P., Jiménez, B., Miller, K.A., Oki, T., Sen, Z. and Shiklomanov, I.A. (2007). Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van der Linden, P.J. and Hanson, C.E. Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.

Lagos, N.A. and Castilla, J.C. (1997). Bayesian statistical inference in ecology: an example of its use in a Chilean marine preserve. Revista Chilena de Historia Natural, 70: 565–575.

Lauritzen, S.L. and Spiegelhalter, D.J. (1988). Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems. J. Roy. Statist. Soc. B, 50: 157-224.

Leach, W.D., Pelkey, N.W. and Sabatier, P.A. (2002). Stakeholder Partnerships as Collaborative Policymaking: Evaluation Criteria Applied to Watershed Management in California and Washington. Journal of Policy Analysis and Management, 21(4): 645-670.

Lee, D.C. (2000). Assessing land-use impacts on bull trout using Bayesian belief networks. In Ferson, S. and Burgman, M. Editors. Quantitative methods for conservation biology. Springer, New York, USA. pp: 127– 147.

Lehmkuhl, J.F., Kie, J.G., Bender, L.C., Servheen, G. and Nyberg, H. (2001). Evaluating the effects of ecosystem management alternatives on elk, mule deer, and white-tailed deer in the interior Columbia River Basin, USA. Forest Ecology and Management, 153(1-3): 89-104.

Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Henrichs, T. and Kaspar, F. (2006). Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. Climatic Change, 75: 273–299.

López Gunn, E. (2003). Policy change and learning in groundwater policy: a comparative analysis of collective action in La Mancha (Spain). Tesis Doctoral. King's College London. pp: 308.

López Gunn, E., Llamas, R., Garrido, A., Sanz, D. (en prensa). Chapter 10. Groundwater Management. pp: 25. En: Rogers, P. (Editor). Treatise in Water Sciencie. Elsevier Publication.

López Sanz, G. (1998). La gestión del agua subterranean en la Cuenca alta del río Guadiana: de la confrontación a la cooperación. Ed. En colaboración con la Diputación Provincial de Ciudad Real. Ciudad Real. pp: 160.

Loucks, D.P and Costa, J.R. (Eds). (1991). Decision Support Systems: Water Resources. Planning. Springer Verlag, Berlin, Germany. pp: 574.

Lynam, T., Bousquet, F., le Page, C., d'Aquino, P., Barreteau, O., Chinembiri, R. and Mombeshora, B. (2002). Adapting Science to Adaptive Managers : Spidergrams, Belief Models, and Multi-agent Systems Modeling. Conservation Ecology, 5(2): 24. http://www.consecol.org/vol5/iss2/art24/.

Lynam, T., de Jong, W., Sheil, D., Kusumanto, T. and Evans, K. (2007). A Review of Tools Incorportating Community Knowledge, Preferences, and Values into Decision Making in Natural Resources Management. Ecology and Society, 12(1): 5. http://www.ecologyandsociety.org/vol112/iss1/art5/.

Llamas, M.R. (1988). Conflicts between wetland conservation and groundwater exploitation: two case histories in Spain. Environmental Geology 11 no. 3 (1988). pp: 241–251.

Llamas, M.R. (1989). Wetlands and groundwater: new constraints in groundwater management. Groundwater Management (ed. Sahuquillo), Intern. Assoc. Hydrological Scinces, 188: 595-604.

Llamas, M.R. (2005). Lecciones aprendidas en tres décadas de gestión de las aguas subterráneas en España y su relación con los ecosistemas acuáticos. Conferencia en la Fundación González-Bernáldez 2005. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.

Llamas, M.R. y García Rodríguez, M. (1992). Cuestiones hidrogeológicas en relación con la génesis y combustión espontánea de las turberas de Zuacorta (Ciudad Real). Informe Final. Convenio de Investigación entre Turbas del Guadiana S.A. y la Cátedra de Hidrogeología de la Universidad Complutense de Madrid. Julio de 1992, Madrid. pp: 58.

Llamas, M.R., Cruces, J., Casado, M., De la Hera, A., Martínez, L. (1996). El desarrollo sostenible de la cuenca alta del río Guadiana: aspectos socio-económicos y ecológicos. Revista Técnica de Medio Ambiente. Septiembre-Octubre 1996. pp: 66-74.

Llamas, M.R., Fornés, J., Hernández- Mora, N. y Martínez Cortina, L. (2001). Aguas subterráneas: retos y oportunidades. Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundiprensa. pp: 529.

Llamas, M.R. and Martínez-Santos, P. (2005). Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflict. ASCE Journal of Water Resources Planning and Management. Editorial September/October 2005: 337-341.

López, J.A., Fornés, J.M., Ramos, G. y Villarroya, F. (2001). Las asguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo. Instituto Geológico y Minero de España y Fundación Marcelino Botín. Madrid. pp: 94.

MAPA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2004). Anuario de estadística agroalimentaria. Consultado en:
http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm.

Maracchi, G., Sirotenko, O. and Bindi, M. (2005). Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe. Climatic Change, 70: 117-135.

Marakas, G.M. (1999). Decision support systems in the twenty-first century. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ (EEUU). pp: 42.

Marcot, B.G. (2006). Characterizing species at risk I: modeling rare species under the Northwest Forest Plan. Ecology and Society, 11(2): 10. [online] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art10/

Marcot, B.G., Holthausen, R.S., Raphael, M.G., Rowland, M.andWisdom, M. (2001). Using Bayesian Belief Networks to evaluate fish and wildlife population viability under land management alternatives from an environmental impact statement. Forest Ecol. Manage., 153: 29–42.

Martin, T.G., Kuhnert, P.M., Mengersen, K. and Possingham, H.P. (2005). The power of expert opinion in ecological models using Bayesian methods: Impact of grazing on birds. Ecological Applications, 15: 266–280.

Martín de Santa Olalla, F.J., Domínguez, A., Artigao, A., Fabeiro, C. and Ortega J.F. (2005). Integrated water resources management of the Hydrogeological Unit "Eastern Mancha" using Bayesian Belief Networks. Agricultural Water Management, 77: 21-36.

Martín de Santa Olalla, F.J., Domínguez Padilla, A., Ortega, F., Artiago Ramírez, A. & Fabeiro Cortés, C. (2007). Bayesian networks in planning a large aquifer in Eastern Mancha, Spain. Environmental Modelling & Software, 22 (8): 1089-1100.
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VHC-4KD5C4K-2&_user=144492&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000012038&_version=1&_urlVersion=0&_userid=144492&md5=7afe4446a2061f383888f4c600aae8d0

Martín-López, B., Gómez-Baggethun, E., González, J.A., Lomas, P.L. and Montes, C. (2009). The assessment of ecosystem services provided by biodiversity: re-thinking concepts and research needs. En: Aronoff, J.B. (Ed) 2009. Handbook of Nature Conservation. Nova Science Publishers, Inc. pp: 22.

Martínez Cortina, L. (2001). Estimación de la recarga en grandes cuencas sedimentarias mediante modelos numéricos de flujo subterráneo. Aplicación a la

cuenca alta del Guadiana. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria, Santander. pp: 418.

Martínez Cortina, L. (2003). Marco Hidrológico de la Cuenca Alta del Guadiana. pp: 3-68. En: Coleto, C., Martínez Cortina, L., Llamas, M.R. (Eds.) 2003. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana. Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. pp: 352.

Martínez Santos, P. (2007). Hacia la gestión adaptable del acuífero de la Mancha Occidental. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. pp: 375.

Martínez Santos, P., Varela-Ortega, C. and Hernández-Mora, N. (2007). Making inroads towards adaptive water management through stakeholder involvement, the NeWater experience in the Upper Guadiana basin, Spain. pp: 17. En: Proceedings of the International Conference on Adaptive and Integrated Water Management (CAIWA), 12-15 November 2007, Basel, Suiza.

Martínez Santos, P., Llamas, M.R. and Martínez-Alfaro, P.E. (2008-a). Vulnerability assessment of groundwater resources: a modelling-based approach to the Mancha Occidental aquifer, Spain. Environmental Modelling & Software, 23(9): 1145-1162.

Martínez Santos, P., De Stefano, L., Llamas, M.R. and Martínez-Alfaro, P.E. (2008-b). Wetland restoration in the Mancha Occidental aquifer, Spain: a critical perspective on water, agricultural and environmental policies. Restoration Ecology, 16(3): 511-521.

McCartney, M.P., Awulachew, S.B., Seleshi, Y., Prasad, K., King, J. and Tarekegn, D. (2005). Decision support systems for dam planning and operation in Africa. Challenge Program on Water and Food: Project Leaders Meeting. Entebbe, Uganda, November 28 – December 01, 2005. pp: 13.

Meehl, G.A. and Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heatwaves in the 21st Century. Science, 305: 994-997.

Millennium Ecosystem Assessment, MEA. (2005). Ecosystems and Human Well Being: Wetland and Water – Synthesis. World Resources Institute, Washington, D.C. pp: 80. Disponible en:
http://www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf.

Ministerio de Medio Ambiente, MIMAM. (2000). Libro blanco del agua en España. Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. pp: 637.

Ministerio de Medio Ambiente, MIMAM. (2005) Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto Efectos del Cambio Climático en España (ECCE). Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. pp: 840.

Ministerio de Medio Ambiente, MIMAM. (2006). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Marco para la coordinación entre administraciones públicas para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático. S. G. para la prevención de la contaminación y del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente. pp:59.

http://www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/pnacc.htm

Ministerio de Medio Ambiente, MIMAM. (2007). El Agua en la Economía española: situación y perspectivas. Informe integrado del análisis económico de los usos del agua. Artículos 5 y anejos II y III de la Directiva Marco del Agua. Madrid. pp: 314.

Montero, E. (1994). Funcionamiento hidrogeológico del sistema de las Lagunas de Ruidera. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Dos Tomos, pp: 275 y anexos.

Montes, C. (2007). Hacia una hidrosolidaridad entre humanos y ecosistemas. Compluteca 2007, 53: 99-107.

Murphy, K. and Mian, S. (1999). Modeling gene expression data using dynamic Bayesian networks. Technical Report, Computer Science Division, University of California, Berkeley, CA. pp: 12.

Murphy, K.P. (2002). Dynamic Bayesian Networks: Representation, Inference and Learning. Dissertation of Doctor of Philosophy in Computer Science. UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY. pp: 281.

Nakičenovič, N., and Swart, R. (eds.). (2000). Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos. pp: 599.

Nakičenovič, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., la Rovere, E., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M.E., Shukla, P.R., Smith, S., Swart, R.J., van Rooyen, S., Victor, N., and Dadi, Z. Eds. (2000). IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press. pp: 599.

Newton, A.C., Marshall, E., Schreckenberg, K., Golicher, D., te Velde, D.W., Edouard, F. and Arancibia, E. (2006). Use of a Bayesian belief network to predict the impacts of commercializing non-timber forest products on livelihoods. Ecology and Society, 11(2): 24. [online] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art24/.

Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) and the Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO). (2007). OECD-FAO's Agricultural Outlook 2007-2016, published in July 2007. pp: 190. Disponible en: http://www.oecd.org/document/38/0,3343,en_2649_33781_38891878_1_1_1_1,00.html.

Olesen, J. and Bindi, M. (2002). «Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy». European Journal of Agronomy, 16: 239-262.

Olesen, J.E., Carter, T.R., Díaz-Ambrona, C.H., Fronzek, S., Heidmann, T., Hickler, T., Holt, T., Mínguez, M.I., Morales, P., Palutikof, J., Quemada, M., Ruiz- Ramos, M., Rubæk, G., Sau, F., Smith, B. and Sykes, M. (2007). Uncertainties in projected impacts

of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. Climatic Change, 81: 123-143.

Özesmi, U. and Özesmi, S.L. (2004). Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. Ecological Modelling, 176(1-2): 43-64.

Pahl-Wostl, C. (2007a). Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. Water Resoures Management, 21(1): 49–62.

Pahl-Wostl, C. (2007b). The implications of complexity for integrated resources management. Environmental Modelling & Software, 22: 561-569.

Pahl-Wostl, C., Sendzimir, J., Jeffrey, P., Aerts, J., Berkamp, G. and Cross, K. (2007). Managing change toward adaptive water management through social learning. Ecology and Society, 12 (2): 30. [online]: http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art30/

Parry, M., Ed. (2000). Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe (ACACIA). University of East Anglia, Norwich, UK. pp: 320.

Parry, M., Ed. (2004). An assessment of the global effects of climate change under SRES emissions and socio-economic scenarios. Glob. Environ. Change, Special Issue, 14: 1-99.

Parry, M.A., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. y Fischer, G. (2004). «Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios ». Global Environmental Change, 14 (2004): 53-67.

Parson, E.A. (1996). Three dilemmas in the integrated assessment of climate change—An editorial comment. Climatic Change, 34: 315–326.

Pearl, J. (1986). Fusion, propagation and structuring in belief networks. Atificial Intelligence, 29 (3): 241-288.

Pearl, J. (1988). Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. Morgan Kaufmann Publichers. Estados Unidos. pp: 552.

Pearl, J. (2000). Causality, by Judea Pearl. ISBN 0521773628. Cambridge, UK: Cambridge University Press, March 2000. pp: 400.

Peinado, M. (1994). Funcionamiento y variabilidad de los geosistemas de los humedales manchegos. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. pp. 296.

Peiteado, C. (2008). Comunicación personal. Adena-WWF. Entrevista el día 25-4-2008.

Peracho, D. (2007). Seminario de redes bayesianas. Informe inédito. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Ministerio de Medio Ambiente. pp: 7.

Pernía, JM. y Fornés, JM. (2008). Cambio Climático y Agua Subterránea. Visión para los próximos decenios. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Madrid. pp: 88.

Pollino, C.A. and White, A.K. (2005). Development And Application Of A Bayesian Decision Support Tool To Assist In The Management Of An Endangered Species. In

Zerger, A. and Argent, R.M. (eds) MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005. ISBN: 0-9758400-2-9. pp: 170-176.
http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/pollino.pdf

Pollino, C.A., Woodberry, O., Nicholson, A., Korb, K. and Hart, B.T. (2007). Parameterisation and evaluation of a Bayesian network for use in an ecological risk assessment. Environmental Modelling & Software, 22: 1140-1152.

Pope, V., Gallani, M.L., Rowntree, P.R. and Stratton, R.A. (2000). The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model: HadAM3. Climate Dynamics, 16: 123-146.

Quiroga, S. e Iglesias, A. (2008). Projections of economic impacts of climate change in agriculture in Europe. Economía Agraria y Recursos Naturales. ISSN: 1578-0732. Vol. 7, 14. (2006). pp: 65-82.

Räisänen, J., et al., (2004). European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. Clim. Dyn., 22: 13–31.

Raphael, M.G., Wisdom, M.J., Rowland, M.M., Holthausen, R.S., Wales, B.C., Marcot, B.G. and Rich, T.D. (2001). Status and trends of habitats of terrestrial vertebrates in relation to land management in the interior Columbia River Basin. Forest Ecology and Management, 153: 29–42.

Real Academia de la Lengua Española. (2008). Edición Digital. http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=variable

Reckhow, K.H. (2003). Bayesian approaches in ecological analysis and modeling. In C. D. Canham, J. J. Cole, and W. K. Lauenroth, editors. Models in ecosystem science. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA. pp: 168–183.

Reitsma, R.F., Zagona, E., Chapra, S. and Strzepek, K. (1996). Decision support systems for water resources management. In: Mays, L.W. (Ed). Water Resources Handbook; McGraw-Hill; New York, N.Y.; 33.1-33.35.

Rieman, B., Peterson, J.T., Clayton, J., Howell, P., Thurow, R., Thompson, W. and Lee, D. (2001). Evaluation of potential effects of federal land management alternatives on trends of salmonids and their habitats in the interior Columbia River basin. Forest Ecology and Management, 153 (1-3): 43-62.

Rockström, J., Lannerstad, M., and Falkenmark, M. (2007) Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. PNAS, 104(15): 6253-6260.

Roeckner, E., Arpe, K.., Bengtsson, L., Christoph, M., Claussen, M., Dümenil, L., Esch, M., Giorgetta, M., Schlese, U. and Schulzweida, U. (1996). The atmospheric general circulation model ECHAM-4: model description and simulation of present-day climate Max-Planck Institute for Meteorology, Report No.218, Hamburg, Germany, pp: 90.

Rossi, P.E. and Allenby, G. (1993). Bayesian approach to estimating household parameters. Journal of Marketing Research, 30 (2): 171-182.

Rowe, G. and Frewer, L.J. (2000). Public Participation Methods: A Framework for Evaluation. Science, Technology & Human Values, 25 (19): 3-29.

Rowe, G. and Frewer, L.J. (2004). Evaluating Public-Participation Exercises: A Research Agenda. Science, Technology & Human Values, 29 (4): 512-556.

Rowland, M.M., Wisdom, M.J., Johnson, D.H., Wales, B.C., Copeland, J.P. and Edelmann. F.B. (2003). Evaluation of landscape models for wolverines in the interior northwest, United States of America. Journal of Mammology, 84(1): 92-105.

Rossi, P.E. and Allenby, G. (1993). Bayesian approach to estimating household parameters. Journal of Marketing Research, 30 (2): 171-182.

Sadoddin, A., Letcher, R.A., Jakeman, A.J. and Newham, L.T.H. (2005). A Bayesian decision network approach for assessing the ecological impacts of salinity management. Mathematics and Computers in Simulation, 69 (1-2): 162-176.

Said, A. (2006). The Implementation of a Bayesian Network for Watershed Management Decisions. Water Resources Management, 20: 591–605.

Said, A., Stevens, D.K. and Sehlke, G. (2005). Physical and economic sustainability of water: new approach using the case of the Big Lost River, Idaho. Environment, Development and Sustainability, 7: 453–464.

Sánchez Pérez, A. (1997). Humedales manchegos: factores ambientales y su repercusión en los suelos. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. pp. 405.

Santos, F.D., Forbes, K. and Moita, R. (2002). Climate change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. SIAM project report, Gradiva, Lisbon. pp: 456.

Saravanan, V.S. (2008). A systems approach to unravel complex water management institutions. Ecological Complexity, 5: 202 – 215.

Schnute, J.T., Cass, A. and Richards. L.J. (2000). A Bayesian decision analysis to set escapement goals for Fraser River sockeye salmon (Oncorhynchus nerka). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 57: 962-979.

Serna, J., Gaviria, M. (1995). La quimera del agua. Presente y futuro de Daimiel y la Mancha Occidental. Ayuntamiento de Daimiel. Ciudad Real. pp: 444.

Servicio Geológico de Obras Públicas, SGOP. (1975). Avance de los resultados obtenidos en el reconocimiento de la zona de las Tablas de Daimiel. Informe 12/75. Serv. Geol. Ob. Púb. M.O.P.U. Madrid, 1975.

Servicio Geológico de Obras Públicas, SGOP. (1986). Sobreexplotación del acuífero de la Llanura Manchega, Informe 06/86. Servicio Geológico de Obras Públicas. M.O.P.U. Madrid, 1986.

Servicio Geológico de la Dirección General de Obras Hidraúlicas, SGDGOH. (1989). Estudio para la ordenación de las extracciones del acuífero de la Mancha Occidental. Informe 12/89. Serv. Geol. Dir. Gral. Obras Hidráulicas. M.O.P.U. pp: 116. Madrid, 1989.

Servicio Geológico de la Dirección General de Obras Hidraúlicas, SGDGOH. (1993). Control de la derivación de agua con destino al ParqueNacional de las Tablas de Daimiel en desarrollo de la Ley 6/1993 de 28 de diciembre. Informe 03/93. Serv. Geol. Dir. Gral. Obras Hidráulicas. M.O.P.U. pp: 23. Madrid, Marzo 1993.

Servicio Integral de Asesoramiento al Regante de Castilla la Mancha, SIAR. (2008). Consultado el 2/3/2008. http://crea.uclm.es/siar/.

Shihab, K. (2005). Modeling Groundwater Quality with Bayesian Techniques. Proceedings of the 2005 5th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA'05). 0-7695-2286-06/05. 2005 IEEE. pp: 6.

Shihab K., Chalabi N. (2007a). Dynamic modeling of ground-water quality using Bayesian techniques. Journal of the American Water Resources Association, 43 (3): 664- 674.

Shihab K., Chalabi N. (2007b). Probabilistic Models for Assessing the Impact of Salinization and Chemical Pollutants. International Journal of Computational Intelligence Research. ISSN 0973-1873. 3 (3): 253-265.

Smith, C.S., Howes, A.L., Price, B. and McAlpinec, C.A. (2007). Using a Bayesian belief network to predict suitable habitat of an endangered mammal– The Julia Creek dunnart (Sminthopsis douglasi). Biological Conservation, 139 (3-4): 333-347.

Smith, C.S. and Bosch, O.J.H. (2004). Integrating disparate knowledge to improve natural resource management. Proceedings of the 13th International Soil Conservation Organisation Conference (ISCO 2004), July 2004, Brisbane. Paper No. 1028.

Soncini-Sessa, R., Castelletti, A. and Weber, E. (2003). A Decision Support System, DSS for planning and managing water reservoir systems. Environmental Modelling & Software, 18: 395–404.

Spiegelhalter, D.J. and Knill-Jones, R.P. (1984). Statistical and knowledge-based approaches to clinical decisio-support systems. Journal of the Royal Statistical Society, Series A, 147 (1): 35-77.

Spiegelhalter, D.J., Dawid, A.P., Lauritzen, S.L. and Cowell, R.G. (1993). Bayesian analysis in expert systems. Statistical Science, 8(3): 219–283.

Starke, E. and Jacob, D. (2007). Regional scenarios of climate change. NeWater Report D2.2.2.a. Max Planck Institute for Meteorology. Hamburg.

Sterman, J.D. (2000). Causal Loop Diagrams. En: Sterman, J. D. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Irwin/McGraw Hill, New York, EEUU. pp: 137-190.

Stewart, T.R., Dennis, R.L. and Ely, D.W. (1984). Citizen participation and judgment in policy analysis: A case study of urban air quality policy. Policy Sciences, 17: 67-87.

Ticehurst, J.L., Rissik, D., Letcher, R.A., Newham, L.H.T. and Jakeman, A.J. (2005). Development of Decision Support Tools to Assess the Sustainability of Coastal Lakes. In Zerger, A. and Argent, R.M. (Eds). MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005, pp: 170-176. ISBN: 0-9758400-2-9. http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/ticehurst.pdf

Ticehurst, J.L., Newham. L.T.H., Rissik, D., Letcher, R.A. and Jakeman, A.J. (2007). A Bayesian network approach for assessing the sustainability of coastal lakes in New South Wales, Australia. Environmental Modelling & Software, 22: 1129-1139.

Trnka, M., Dubrovski, M. and Zalud, Z. (2004). Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. Climatic Change, 64: 227-255.

UNESCO-WWAP, World Water Assessment Programme. (2003). Water for People, Water for Life. The United Nations. World Water Development Report. UNESCO and Berghahn Books. pp: 36. Disponible en: http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556e.pdf

United States Department of Agriculture (USDA's). (2007). USDA's "2007 International Long-Term Projections to 2016". Estados Unidos. pp: 116. Dispoinble en: http://www.ers.usda.gov/data/internationalbaseline/.

Uusitalo, L., Kuikka, S., Romakkaniemi, A. (2005). Estimation of Atlantic salmon smolt carrying capacity of rivers using expert knowledge. ICES J. Marine Sci., 62 (4): 708–722.

Van der Keur, P., Henriksen, H.J., Refsgaard, J.C., Brugnach, M., Pahl-Wostl, C., Dewulf, A. and Buiteveld, H. (2008). Identification of Major Sources of Uncertainty in Current IWRM Practice Illustrated for the Rhine basin. Water Resources Management, 22 (11): 1677–1708. DOI 10.1007/s11269-008-9248-6.

Varela-Ortega, C. (2007). Policy-driven determinants of irrigation water use and environmental protection: a case study in Spain. En: F. Molle and J. Berkoff, editors. (2007). Irrigation Water Pricing Policy in Context: Exploring The Gap Between Theory and Practice. Comprehensive Assessment of Water Management. Earthscan and Colombo: International Water Management Institute. edn, IWMI and CABI Press, Wallingford, UK. pp: 328-346.

Varela-Ortega, C., Sumpsi, J.M., Garrido, A., Blanco, M. and Iglesias, E. (1998). Water pricing policies, public decision making and farmers' response: implications for water policy. Agricultural Economics, 19(1-2): 193-202.

Varela-Ortega, C., Sumpsi, J.M. y Blanco, M. (2003). Análisis económico de los conflictos entre el regadío y la conservación de humedales en el Alto Guadiana. pp. 257-276. En: Coleto, C., Martínez Cortina, L., Llamas, M.R. (Eds). (2003). Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la

cuenca alta del Guadiana. Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundiprensa. Madrid. pp: 352.

Varela-Ortega, C., Blanco, I. and Esteve, P. (2006). Economic and Agronomic aspects of water management in the Upper Guadiana Basin. Stakeholder meeting Report. Newater Project (no 511179) DG Research . EU.Commission, Bruselas.

Varis, 0. (1995). Belief networks for modeling and assessment of environmental change, Environmetrics, 6: 439-144.

Varis, O. (1997). Bayesian decision analysis for environmental and resource management. Environm. Modell. Softw., 12: 177–185.

Varis, O. (1998). A belief network approach to optimization and parameter estimation: application to resource and environmental management. Artificial Intelligence, 101: 135-163.

Varis, 0., Kettunen, J. and Sirvio, H. (1990). Bayesian influence diagrams in complex environmental management including observational design, Comput. Statist. Data Anal., 9: 77-91.

Varis, 0., Klove, B. and Kettunen, J.. (1993). Evaluation of a real-time forecasting system for river water qualitya trade-off between risk attitudes, costs and uncertainty, Environm. Monit. Assessment, 28: 201-2 13.

Varis, 0. and Kuikka, S. (1997a). BeNe-EIA: a Bayesian approach to expert judgment elicitation with case studies on climatic change impacts on surface waters, Climatic Change, 37: 539-563.

Varis, 0. and Kuikka, S. (1997b). Joint use of multiple environmental assessment models by a Bayesian meta-model: the Baltic salmon case, Ecol. Modelling, 102: 341-351.

Varis, O., Kuikka, S. (1999). Learning Bayesian decision analysis by doing: lessons from environmental and natural resources management. Ecological Modelling, 119: 177–195.

Velasco Vizcaíno, M. (2003). La reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda. Estado de conservación de los humedales en relación con el uso de las aguas subterráneas. pp: 197-232. En: Coleto, C., Martínez Cortina, L., Llamas, M.R. (Eds). (2003). Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana. Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundiprensa. Madrid. pp: 352.

Viladomiú y Rosell (2003). Intensificación agraria, agua y humedales en la cuenca alta del Guadiana. pp: 277-290. En: Coleto, C., Martínez Cortina, L., Llamas, M.R. (Eds). (2003). Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana. Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundiprensa. Madrid. pp: 352.

Von Korff, Y. (2006). Towards an evaluation method for public participation processes in AquaStress and NeWater. A proposal for both projects. Informe inédito.

Walker, W.E, Harremoës, P., Rotmans, J., Van der Sluijs, JP., Van Asselt, MBA., Janssen, P. and Krayer von Krauss, M.P. (2003). Defining uncertainty. A conceptual basis for uncertainty management in model based decision support. Integrated Assessment, 4(1): 5–17.

Webler, T., Dastenholz, H. and Renn, O. (1995). Public Participation in Impact Assessment: A Social Learning Perspective. Environmental Impact Assessment Review, 15: 443-463.

Webler, T. and Tuler, S. (2001). Public participation in watershed management planning: views on process from people to field. Human Ecology Review, 8(2): 29-39.

Weber, P. and L. Jouffe. (2006). Complex system reliability modelling with Dynamic Object Oriented Bayesian Networks (DOOBN), Reliab. Eng. Syst. Saf., 91 (2): 149–162.

Weber, P., Munteanu, P., Jouffe, L. (2004). Dynamic Bayesian Networks modelling the dependability of systems with degradations and exogenous constraints. 11th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, INCOM'04. Salvador-Bahia, Brazil, April 5-7th, 2004. pp: 7.

Yu, D., Nguyen, T. and Haddawy, P. (1999). Bayesian network model for reliability assessment of power systems. IEEE Transaction on Power Systems 14, 426-432.

Zorrilla, P., Carmona, G., de la Hera, A., Bromley, J., Henriksen, H.J. and Rasmussen, P. (2007). Application of Bayesian Belief Networks to the Upper Guadiana basin. In Proceedings of the, International Conference on Adaptive and Integrated Water Management (CAIWA), 12-15 November 2007, Basel, Suiza.

Zweig, G. and. Russell, S. (1998). Speech recognition with dynamic Bayesian networks. In AAAI-98, 1998. pp: 169.

Páginas web:

Agencia Estatal de Meteorología:
http://www.aemet.es/es/elclima/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=4121&k=clm

Confederación Hidrográfica del Guadiana: http://www.chguadiana.es

Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente de Castilla la Mancha:
http://www.jccm.es/medioambiente/oaenclm/reservas.htm

y

http://www.jccm.es/industria/index.htm

Ministerio de Medio Ambiente:
www.marm.es/

y

http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/rednatura2000/rednatura_espana/lic/lic_castillalamancha.htm

UNESCO:
http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?code=SPA+05&mode=all.

Instituto de Estadística de Castilla la Mancha, 2009
http://www.ies.jccm.es/

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Reparto del empleo (puestos de trabajo) y de VABpb (mill. €) de la sub-rama agrícola para las Comarcas agrícolas llamas "Mancha", en distintas provincias de Castilla la Mancha, en el Alto Guadiana.

Tabla Anexo 1.1. Reparto del empleo (puestos de trabajo) y de VABpb (mill. €) de la sub-rama agrícola para las Comarcas agrícolas llamas "Mancha", en distintas provincias de Castilla la Mancha, en el Alto Guadiana.
Fuente: PEAG. Memoria técnica (AnexoVII). II.Situación actual socioeconómica y ambiental. 1. Estudio Socioeconómico del Ámbito territorial. Pág.33. (Fuente: Elaboración a partir de la Contabilidad Regional y Nacional 2001 del INE y del Censo de Población y Vivienda INE).

Comarca agraria	Mancha (Ciudad Real)	Mancha (Albacete)	Mancha (Toledo)	Mancha (Baja, Cuenca)	TOTAL COMARCAS "MANCHA"		
					2001	2005	2008
Puestos de trabajo	10.372	1.662	4.507	1.606	18.147	20.535	22.326
VABpb (mill. €)	258,6	36,7	81,1	46,4	423	426	429

Tabla Anexo 1.2. Reparto del empleo (puestos de trabajo) de la sub-rama agrícola para el Acuífero de la Mancha Occidental.

Comarca agraria	Mancha (Ciudad Real)	Mancha (Albacete)	Mancha (Toledo)	Mancha (Baja, Cuenca)	ACUÍFERO MANCHA OCCIDENTAL		
					2001	2005	2008
Mínima superficie dentro del Acuífero	100%	30%	10%	10%	-	-	-
Máxima superficie dentro del Acuífero	100%	75%	30%	40%	-	-	-
Nº Mínimo de empleos	10.372	499	451	161	11.482	12.993	14.126
Nº Máximo de empleos	10.372	1.247	1.352	642	13.613	15.404	16.748

Tabla Anexo 1.3. Reparto de VABpb (mill. €) de la sub-rama agrícola para el Acuífero de la Mancha Occidental.

Comarca	Mancha (Ciudad Real)	Mancha (Albacete)	Mancha (Toledo)	Mancha (Baja, Cuenca)	ACUÍFERO MANCHA OCCIDENTAL		
					2001	2005	2008
Máxima superficie dentro del Acuífero	100%	30%	10%	10%	-	-	-
Mínima superficie dentro del Acuífero	100%	75%	30%	40%	-	-	-
VABpb Mínimo	258,6	11,01	8,11	4,64	282	285	286
VABpb Máximo	258,6	27,525	24,33	18,56	329	332	334

ANEXO 2. Horario de la 1ª reunión con los grupos de interés para construir la red bayesiana de forma participativa. 10 de mayo de 2007. Ciudad Real.

NeWater

Primer taller para la construcción de la Red Bayesiana del Alto Guadiana

Delegación Provincial de Agricultura. Consejería de Agricultura de Castilla la Mancha.
(C/Alarcos, 21, Planta Baja. CIUDAD-REAL).

Jueves 10 de mayo de 2007

10:00-10:15	Bienvenida (Ramón LLamas). - Presentación del Proyecto NeWater. - Objetivos de la reunión. - Horario.
10:15-10:45	Introducción. (Gema Carmona y Pedro Zorrilla) - Presentación de la herramienta metodológica: Las Redes Bayesianas. Qué son y cómo se construyen. - Presentación del Plan de trabajo. Recomendaciones de los asistentes.
10:45-12:30	Definición de variables, relaciones y posibles estados de las variables de la Red a escala de acuífero (Pedro Zorrilla y Nuria Hernández-Mora).
12:30-12:45	Pausa.
12:45-14:30	Definición de variables, relaciones y posibles estados de las variables de la Red a escala de explotación (finca) (Gema Carmona y Nuria Hernández-Mora).
14:30-15:30	Almuerzo.
15:30-16:00	Resumen de los primeros resultados del Proyecto NeWater. (Pedro Martínez Santos y Consuelo Varela).
16:00	Cierre (Consuelo Varela).

ANEXO 3. Horario de la 2ª reunión con los grupos de interés para construir la red bayesiana de forma participativa. 16 de mayo de 2007. Madrid.

NeWater

Primer taller para la construcción de la Red Bayesiana del Alto Guadiana

Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. (Sala de Juntas. 4ª Planta. C/ José Antonio Novais s/n. 28040 Ciudad Universitaria, Madrid)

Miércoles 16 de mayo de 2007

10:00-10:15	Bienvenida (Ramón LLamas). - Presentación del Proyecto NeWater. - Objetivos de la reunión. - Horario.
10:15-10:45	Introducción. (Gema Carmona y Pedro Zorrilla) - Presentación de la herramienta metodológica: Las Redes Bayesianas. Qué son y cómo se construyen. - Presentación del Plan de trabajo. Recomendaciones de los asistentes.
10:45-12:30	Definición de variables, relaciones y posibles estados de las variables de la Red a escala de acuífero (Pedro Zorrilla y Nuria Hernández-Mora).
12:30-12:45	Pausa.
12:45-14:30	Definición de variables, relaciones y posibles estados de las variables de la Red a escala de explotación (finca) (Gema Carmona y Nuria Hernández-Mora).
14:30-15:30	Almuerzo.
15:30-16:00	Resumen de los primeros resultados del Proyecto NeWater. (Pedro Martínez Santos).
16:00	Cierre (Ramón LLamas).

ANEXO 4. Cuestionario utilizado para guiar las discusiones durante la 1ª reunión con los grupos de interés para construir la red bayesiana de forma participativa. 10 y 16 de mayo de 2007; Ciudad Real y Madrid (respectivamente).

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA RED BAYESIANA EN LA CUENCA ALTA DEL GUADIANA

Grupo en el que usted se encuadra

☐ ***Administración*** ☐ ***Usuarios*** ☐ ***Grupos conservacionistas***☐ ***Científicos***

BLOQUE I

CUESTIONES RELATIVAS A LA GESTIÓN REGIONAL DEL ACUÍFERO

A. FACTORES SOCIALES

1. De qué depende el bienestar de la sociedad ¿ingresos, cohesión social, infraestructuras, ambiente limpio, bienestar en el trabajo, ayudas sociales, etc.?

2. Percepciones acerca del relevo generacional en relación al bienestar social y a cuestiones agrarias: cómo influye en el número de hectáreas en producción y tamaño de las mismas.

3. ¿Cuál es el peso de la agricultura en el empleo de la zona?

4. ¿Cuáles son los cultivos que crean más empleo? ¿Qué repercusión podría tener la extensificación de la agricultura?

5. Propuesta de acciones para incrementar la renta agraria:
    - Formación en la comercialización de los productos.
    - Agricultura ecológica
    - Modernización de regadíos
    - Créditos blandos
    - …

B. INGRESOS DEL SECTOR AGRARIO

6. ¿Qué proporción de los ingresos regionales se deben a actividades agrícolas y a otros sectores?
   % Agricultura
   % Industria
   % Servicios
   % Construcción
   % Otros ….

7. ¿De qué dependen los ingresos regionales por productos agrícolas?
   - Precios de los productos agrarios
   - Cosecha anual
   - Costes de producción
   - ...

8. ¿De qué depende el precio de los productos agrícolas?
   - Mercado nacional, internacional, regional (nivel de gasto, cosechas internacionales, demanda, etc.…)
   - OMC
   - Subvenciones PAC
   - Intermediarios, cooperativas, distribuidores, consumidores
   - ...

9. Factores que influyen en la abundancia de las cosechas
   - Hectáreas de cada cultivo plantadas
   - Climatología
   - Cantidad de agua por hectárea
   - Cantidad por hectárea de Insumos: fertilizantes, herbicidas, insecticidas,
   - Plagas
   - ...

10. ¿Cree que las ayudas económicas al agricultor deberían fundamentarse en la renta o en la producción agraria?

11. ¿Cree que debería hacerse una distinción entre agricultores a título principal y aquellos que tienen su explotación como segunda actividad?

C. DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE CULTIVOS

12. ¿Qué factores determinan la superficie de cada cultivo en la cuenca? ¿Qué factores tienen en cuenta los agricultores al elegir el tipo de cultivo para su explotación? ¿Cambia de un año a otro? ¿Existe alguna tendencia?

13. ¿Qué influencia tienen las distintas políticas (europeas, nacionales) sobre la distribución regional de cultivos?

14. ¿Se prevé e un futuro próximo un aumento de la superficie de cultivos bioenergéticos? ¿Se podría producir un cambio a cultivos menos demandantes de agua?

15. ¿Cómo influye el tamaño de la explotación en la selección de la distribución de cultivos? ¿Qué distribución de cultivos es más probable que se dé en función del tamaño de la explotación?

16. Dependiendo del volumen de extracciones permitido ¿calcula el agricultor la distribución de cultivos más idónea? O a la inversa, ¿es la distribución de cultivos elegida la que determina el volumen de extracciones? ¿Los permisos influyen en la distribución de cultivos?

17. Percepciones acerca del relevo generacional con relación al número de hectáreas en producción y tamaño de las mismas.

18. ¿Influye el precio del agua?

D. PRECIOS Y DERECHOS DE RIEGO

19. ¿Influyen las condiciones de precipitación y temperatura en el consumo anual de agua del acuífero?

20. ¿Mide el agricultor el volumen de agua consumido por su explotación? ¿Qué sistema utiliza? ¿Conoce el volumen medio de agua empleado por hectárea y año según cultivo?

21. ¿En qué grado se cumple el marco legal? ¿Qué modificaciones favorecerían la mayor aceptación de dichas regulaciones?

22. ¿Qué tipo de explotación es la que más incumple los límites en el volumen de agua extraíble? ¿Son las más vulnerables a la disminución de volumen o no necesariamente?

E. CUESTIONES HIDROLÓGICAS Y AMBIENTALES

23. ¿Conoce la relación existente entre aguas subterráneas y existencia y conservación de humedales? ¿Cuál es?

24. ¿Conoce la evolución de los niveles piezométricos del acuífero 23 en los últimos 20 años?

25. ¿Qué factores cree usted que son los más significativos en la situación de los niveles de aguas subterráneas?
    - Recarga natural
    - Propiedades del acuífero
    - Recarga por pérdidas de los regadíos
    - Volumen extraído de los pozos
    - Evaporación
    - Otros…...

26. ¿Conoce los criterios de regulación de las aguas subterráneas? Causas de su aceptación o rechazo.

VARIABLES DE LA RED BAYESIANA PROPUESTA

Listado de variables que influyen en la economía regional (bienestar de la sociedad) y en el nivel del acuífero (conservación de los humedales).

VARIABLES	
1.	Renta de la explotación
2.	Ingresos no agrícolas
3.	Ingresos agrícolas
4.	Renta agraria de la región
5.	Costes de producción
6.	Precio de los productos agrarios
7.	Mercados regionales, nacionales e internacionales
8.	Subproductos
9.	Subvenciones europeas
10.	Plan de extracciones
11.	Cosecha anual de cada cultivo
12.	Hectáreas de cada cultivo
13.	Hectáreas de regadío
14.	Precio del agua
15.	Tamaño de la explotación
16.	Cultivos anteriores
17.	Compra de derechos de agua
18.	Edad de los agricultores
19.	Nivel del acuífero
20.	Agua necesaria para riegos
21.	Tecnologías de riego
22.	Eficacia del riego
23.	Volumen extraído de los pozos
24.	Recarga del acuífero por ineficacia de riegos
25.	Temperatura
26.	Cubierta vegetal de la cuenca
27.	Evapotranspiración
28.	Lluvia
29.	Recarga natural
30.	Propiedades del acuífero
31.	Cumplimiento de las restricciones

ANEXO 5. Representantes de los grupos de interés a los que se hizo la entrevista personal.

1. David Howell, SEO. Fue la primera entrevista y sirvió para redefinirla. 16-1-2008. Madrid.

2. Agustín Apio. Comunidad General de Usuarios de Agua del Acuífero 23. 23-1-2008. Tomelloso.

3. José María Oñate. COAG. 23-1-2008. Alcázar de San Juan.

4. Bernardo Díaz del Amo. Comunidad de Regantes de Manzanares. 24-1-2008. Manzanares.

5. David Peracho. Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. 24-1-2008. Ciudad Real.

6. Ángel González. Consejería de Agricultura de la JCCM. 25-1-2008. Ciudad Real.

7. José Manuel Hernández. Ecologistas en Acción-Ciudad Real. 25-1-2008. Ciudad Real.

8. Alberto Fernández Lop. Adena-WWF. 30-1-2008. Madrid.

9. José Ángel Rodríguez Cabellos. Oficina de Planificación de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. 1-2-2008. Madrid.

10. Celsa Peiteado. Adena-WWF. 25-4-2008. Madrid.

ANEXO 6. Metodología utilizado en las entrevistas a los representantes de los grupos de interés para la construcción de redes bayesianas.

1. Presentación personal, explicar que primero les recordaremos brevemente qué son las redes bayesianas y que después ya entraremos en materia.
2. Recordatorio de las redes bayesianas. Presentación en power point parecida a la que hicimos en las reuniones de mayo.
3. Explicar el objetivo y el plan de la entrevista.
   -Tenemos dos redes a diferentes escalas. Las dos pretenden evaluar la posible recuperación del acuífero, pero una se centra en las consecuencias económicas de las explotaciones y otra en las consecuencias socioeconómicas a escala del acuífero de la Mancha Occidental y que da más importancia al acuífero.
   -Les vamos a enseñar los avances que hemos hecho desde la reuniones de mayo.
   - El Objetivo de la entrevista es:
      1- Verificar, completar y revisar la estructura de las redes. Para ello hemos traído impresas las redes.
      2- Que nos ayuden a completar los estados de las variables y las tablas de probabilidad condicional. Para ello tenemos preparadas tablas y preguntas.
      3- Preguntarles dudas concretas que nos han surgido.
      4- Que ellos sientan que han contribuido a su construcción y nos ayuden todo lo posible.

Plan de las entrevistas:

-Red a escala de explotación:
Se irá revisando la red, comprobando la relación que existe entre variables. Gema tiene preparadas preguntas concretas de determinadas variables que preguntará cuando se llegue a ellas en la revisión de la red.

-Red a escala de acuífero:
Se hará primero una revisión de la red, sin meterse en los estados ni probabilidades de las variables. Se empezará por las variables objetivo, después las acciones que se quieren evaluar. Finalmente partiendo de las acciones se irá revisando la red, empezando por las variables más conocidas por cada actor interesado.
Posteriormente, Pedro preguntará por los estados y probabilidades más importantes y más conocidos por cada actor interesado.
*Probabilidad futuro: probabilidad tras la aprobación del PEAG.

ANEXO 7. Horario de la 3ª reunión con los grupos de interés para construir la red bayesiana de forma participativa. 5 de febrero de 2008. Madrid.

VALIDACIÓN DE REDES BAYESIANAS DEL ALTO GUADIANA

La validación de cada red tendrá un formato de diálogo abierto, guiado por dos moderadores/facilitadores.

10:30 Bienvenida (Ramón Llamas, UCM y Consuelo Varela, UPM)

10:40 Presentación de los participantes

10:45 Parte 1. Introducción

- **1.1** Programa de la reunión. Gema Carmona, UPM.
- **1.2** Interés y objetivo de desarrollar Redes Bayesianas en el proyecto Newater y en el Alto Guadiana. Gema C.
- **1.3** Recordatorio breve de las redes bayesianas. Gema C.
  - A. Qué son las redes bayesianas
  - B. Por qué son útiles y dónde se usan
  - C. Cómo funcionan
  - D. Proceso de construcción
- **1.4** Explicación de la existencia de 2 redes y cómo interaccionan. Pedro Zorrilla, UCM.
- **1.5** Objetivos de la reunión del día y cuál es el papel de los asistentes. Pedro Z.

11:05 Parte 2. Red a escala de explotación. Gema C. y Nuria Hernández Mora, UCM.

- **2.1** Objetivo de la red
- **2.2** Resultados provisionales e implicaciones de política y gestión
- **2.3** Variables "objetivo" y variables "padre"
- **2.4** Estructura de la red
- **2.5** Estados de las variables
- **2.6** Tablas de probabilidad

12:25-12:55 Café

12:55 Parte 3. Red a escala regional (acuífero Mancha Occidental). Pedro Z. y Nuria H. M.

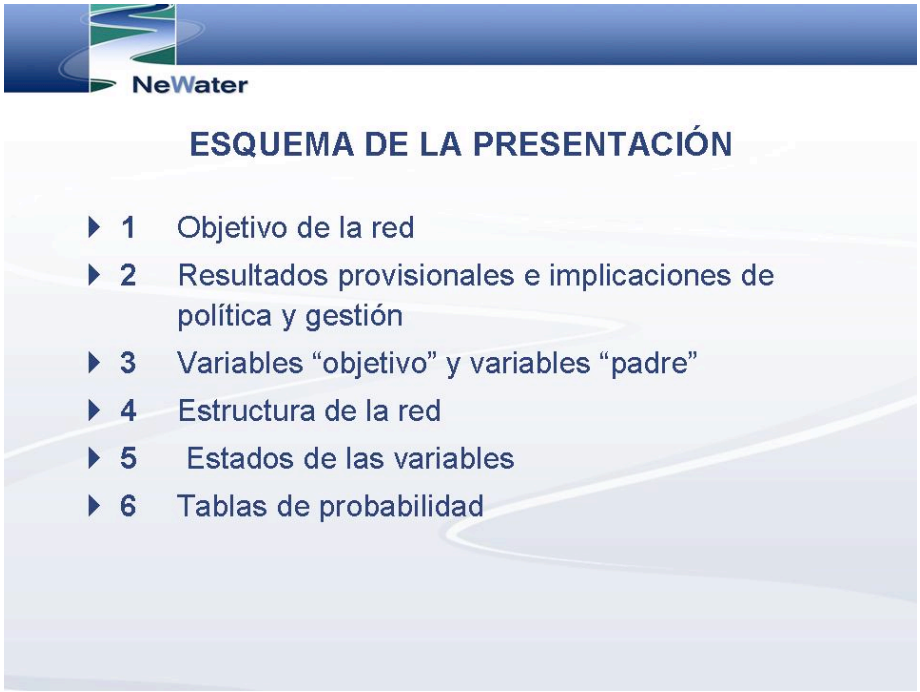
- **3.1** Objetivo de la red
- **3.2** Resultados provisionales e implicaciones de política y gestión
- **3.3** Variables "objetivo" y variables "padre"
- **3.4** Estructura de la red
- **3.5** Estados de las variables
- **3.6** Tablas de probabilidad

14:15 Conclusiones y siguientes pasos. Plan de trabajo llevado a cabo hasta ahora para la construcción de las redes y futuros pasos. Nuria H.M., Gema C. y Pedro Z**.**

14:30 Clausura de la reunión y comida de despedida. Ramón Llamas y Consuelo Varela.

Fundación Ortega y Gasset, C/ Fortuny, 53 - 28010 Madrid
Martes 5 de febrero de 2008

ANEXO 8. Presentación utilizada para guiar las discusiones durante la 3ª reunión con los grupos de interés para construir la red bayesiana de forma participativa. 5 de febrero de 2008. Madrid.



NeWater

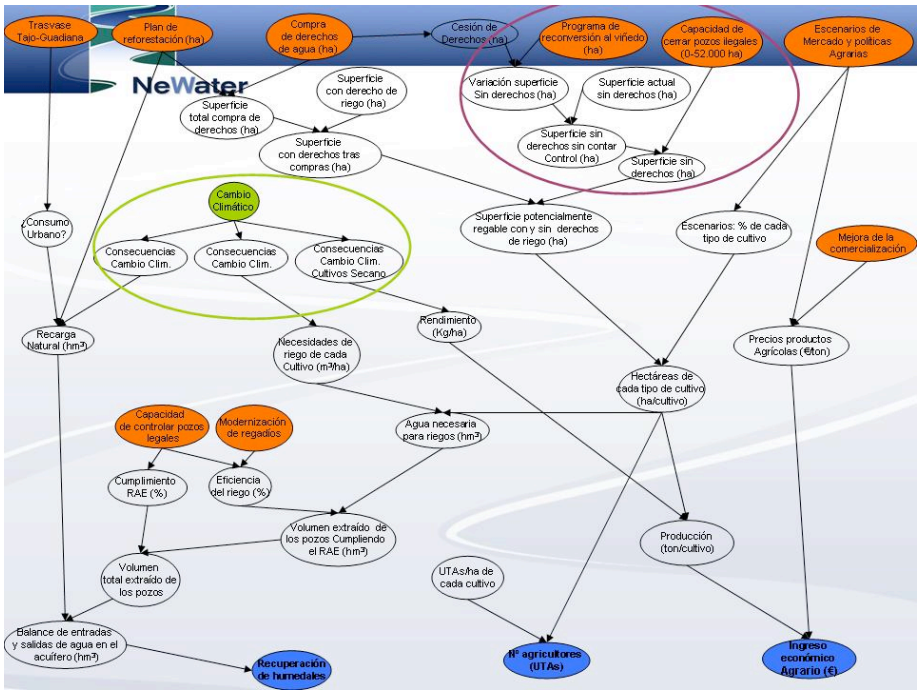
1. Objetivo de la red

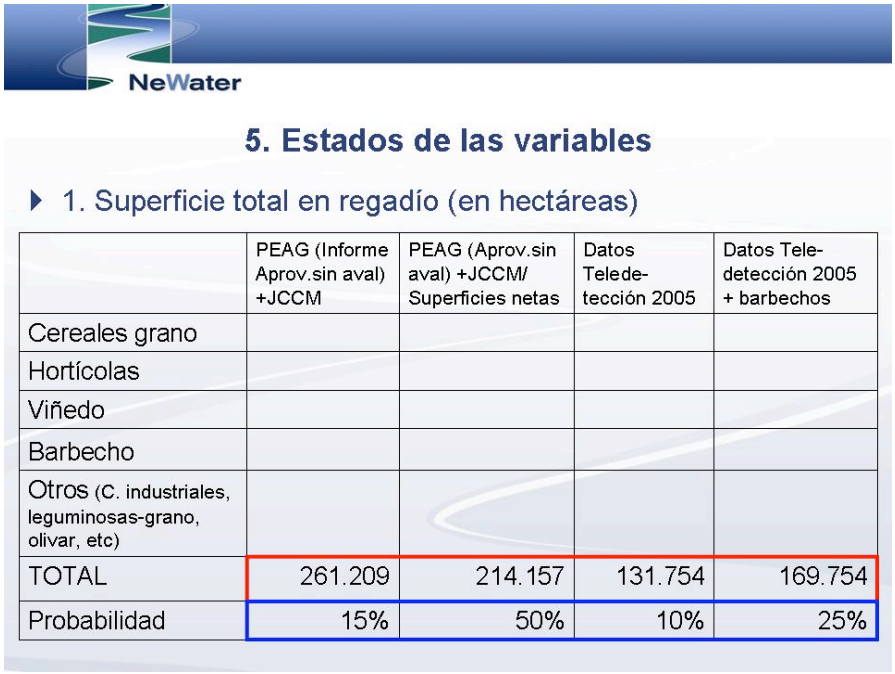
1. Evaluar las consecuencias del PEAG en el acuífero de la Mancha Occidental, en los ingresos agrarios y en los puestos de trabajo agrarios.
2. Evaluar las consecuencias del cambio climático.
3. Identificar las variables que necesitan un mejor conocimiento o precisión
4. Identificar acuerdos y desacuerdos en los datos que manejan las partes interesadas
5. Evaluar la metodología como herramienta de participación y de toma de decisiones

NeWater

2. Resultados provisionales e implicaciones de política y gestión

1. Incongruencias entre las hectáreas con derechos reconocidos y las hectáreas que se cuentan en regadío dependiendo del origen de los datos
2. Plan de reconversión del viñedo: difícil encajarlo en la red, podría implicar aumento de regadíos
3. Todo el mundo coincide en creer que el PEAG aumentará el control de las extracciones y en que esto depende fundamentalmente de la voluntad política
4. Las partes implicadas no tienen un panorama claro de cuál será el futuro de la agricultura en la zona
5. Diferencias en la evaluación de la eficiencia de riego





NeWater

5. Estados de las variables

- 1. Superficie total en regadío (en hectáreas)

	PEAG (Informe Aprov.sin aval) +JCCM	PEAG (Aprov.sin aval) +JCCM/ Superficies netas	Datos Telede-tección 2005	Datos Tele-detección 2005 + barbechos
Cereales grano				
Hortícolas				
Viñedo				
Barbecho				
Otros (C. industriales, leguminosas-grano, olivar, etc)				
TOTAL	261.209	214.157	131.754	169.754
Probabilidad	15%	50%	10%	25%

NeWater

2. Patrón de cultivos (en hectáreas)

	PEAG (Informe Aprov.sin aval) +JCCM	PEAG (Aprov.sin aval) +JCCM/ Superficies netas	Datos Telede-tección 2005	Datos Tele-detección 2005 + barbechos
Cereales grano	76.311	68.680	28.841	28.841
Hortícolas	25.290	22.761	16.422	16.422
Viñedo	88.404	79.564	83.640	83.640
Barbecho	38.000	34.200	0	38.000
Otros (C. industriales, leguminosas-grano, olivar, etc)	33.204	8.952	2.850	2.850
TOTAL	261.209	214.157	131.754	169.754
Probabilidad	15%	50%	10%	25%

NeWater

2. Patrón de cultivos (en porcentaje)

	PEAG (Informe Aprov.sin aval) +JCCM	PEAG (Aprov.sin aval) +JCCM/ Superficies netas	Datos Telede-tección 2005	Datos Tele-detección 2005 + barbecho s
Cereales grano	30 %	30 %	22 %	15 %
Hortícolas	10 %	10 %	12 %	10 %
Viñedo	35 %	40 %	63 %	50 %
Barbecho	15 %	15 %	0 %	23 %
Otros (C. industriales, leguminosas-grano, olivar, etc)	10 %	5 %	2 %	2 %
TOTAL	100 %	100 %	100 %	100 %
Probabilidad	10	40	10	40

NeWater

3. Escenarios de mercado y política agrícola

1. Que se mantengan el patrón de cultivos actual
2. Previsto en el PEAG: apoyo a los cultivos más rentables en cuánto al uso del agua: hortícolas
3. Mejora de la comercialización del vino, de la planificación de cultivos y bajos precios de cereales
4. Aumento continuado y persistente de precios de cereales (aumento de demanda internacional, aumento demanda por biodiésel, baja producción internacional, etc.), aumento mecanización

NeWater

3. Escenarios de mercado y política agrícola

	1 Actual A	1 Actual B	2 PEAG	3 Aumento viñedo	4 Aumento cereales
Cereales grano	68.680	28.841	35.000	20.000	75.000
Hortícolas	22.761	16.422	25.000	20.000	15.000
Viñedo	79.564	83.640	50.000	100.000	50.000
Barbecho	34.200	38.000	15.000	10.000	25.000
Otros (Industriales, leguminosas, olivar…)	8.952	2.850	-	-	-
TOTAL	214.157	169.754	125.000	155.000	165.000
Compra de derechos			50.000	(60.000-15.000)	(50.000-5.000)
Probabilidad					

NeWater

3. Escenarios de mercado y política agrícola

	1 Actual A	1 Actual B	2 PEAG	3 Aumento viñedo	4 Aumento cereales
Cereales grano	68.680	28.841	35.000	20.000	75.000
Hortícolas	22.761	16.422	25.000	20.000	15.000
Viñedo	79.564	83.640	50.000	100.000	50.000
Barbecho	34.200	38.000	15.000	10.000	25.000
Otros (Industriales, leguminosas, olivar…)	8.952	2.850	-	-	-
TOTAL	214.157	169.754	125.000	155.000	165.000
Compra de derechos			50.000	(60.000-15.000)	(50.000-5.000)
Probabilidad			50%	25%	25%

NeWater

4. Superficie con derechos inscritos

	PEAG (Informe Aprov.sin aval) +JCCM	PEAG (Aprov.sin aval) +JCCM/Superficies netas	Datos Teledetección 2005	Datos Teledetección 2005 + barbechos
Con derechos	**208.640**	**171.576**	**99.000**	**127.000**
Sin derechos	**52.569**	**42.581**	⇨ **33.000**	**42.500**
Total	**261.209**	**214.157**	**131.754**	**169.754**

NeWater

5. Compra de derechos de uso de agua

Estados	Hectáreas	Hm^3	Probabilidad
Máximo (Compra: todo viñedo)	113.700	170	2%
Medio (Compra: ½ leñosos y ½ herbáceos). -Coincide con sup. máxima en PEAG. Anejo VI. Hipótesis de recuperación del acuífero. Pág 7.	89.300	150	5%
Actual. -Coincide con sup. máxima en PEAG. Anexo 7. Anejo 3. Análisis coste-eficacia. Pág. 16.	69.100	112	25%
Poco (Compra: todo herbáceos)	65.000	130	25%
½ Actual	35.000	56	25%
1/4 Poco	13.000	27	18%

NeWater

6. Plan de reforestación: Compra de derechos de uso de agua y/o tierras con usos de agua

Estados	Ahorro de agua (hm^3)	Superficie afectada (ha)	Dotación contemplada (m3/ha)	Probabilidad
Máximo	96	68.000	1.412	10%
Alto	70	49.583	1.412	20%
Medio	55	38.958	1.412	40%
Bajo	25	17.708	1.412	20%
Muy bajo	10	7.083	1.412	10%

Fuente: PEAG. Anexo 7. Memoria Técnica. Anejo 6. Hipótesis de recuperación UH 04.04. Pág. 9, 10, 11.
Rojo=deducido a partir de los datos del PEAG

NeWater

7. Combinación de la compra de derechos general y del Plan de reforestación

Compra de derechos		Plan de reforestación		SUMA	Probabilidad
Estados	Hectáreas	Estados	Hectáreas		
Máximo	113.700	Máximo	68.000	180.000	
Medio	89.300	Alto	49.583	140.000	
Actual..	69.100	Medio	38.958	110.000	
Poco	65.000	Bajo	17.708	82.000	
½ Actual	35.000	Muy bajo	7.083	42.000	
1/4 Poco	13.000			13.000	

Fuente: PEAG. Anexo 7. Memoria Técnica. Anejo 6. Hipótesis de recuperación UH 04.04. Pág. 9, 10, 11.
Rojo=deducido a partir de los datos del PEAG

NeWater

7. Combinación de la compra de derechos general y del Plan de reforestación

	PEAG (Informe Aprov.sin aval) +JCCM	PEAG (Aprov.sin aval) +JCCM/Superficies netas	Datos Teledetección 2005	Datos Teledetección 2005 + barbechos
Con derechos	**208.640**	**171.576**	**99.000**	**127.000**

Compra de derechos		Plan de reforestación		TOTAL	Probabilidad
Estados	Hectáreas	Estados	Hectáreas		
Máximo	113.700	Máximo	68.000	180.000	0%
Medio	89.300	Alto	49.583	140.000	0%
Actual	69.100	Medio	38.958	110.000	10%
Poco	65.000	Bajo	17.708	82.000	30%
½ Actual	35.000	Muy bajo	7.083	42.000	50%
1/4 Poco	13.000			13.000	10%

Fuente: PEAG. Anexo 7. Memoria Técnica. Anejo 6. Hipótesis de recuperación UH 04.04. Pág. 9, 10, 11.
Rojo=deducido a partir de los datos del PEAG

NeWater

8. Ayuda agroambiental de los sistemas extensivos de secano:

1- ¿Tiene objetivos específicos de cifras?
2- ¿Qué influencia tendrá?

Superficie afectada		Probabilidad
Cereal regadío	Cereal Secano	50%
Cereal regadío	Viña Secano	30%
Viña regadío	Cereal Secano	20%
Viña regadío	Viña Secano	0%
Hortícola	Viña/Cereal	0%

NeWater

8. Ayuda agroambiental de los sistemas extensivos de secano:

1- ¿Tiene objetivos específicos de cifras?
2- ¿Qué influencia tendrá?

3- ¿Creen que su influencia puede ser importante?

Superficie afectada		**Probabilidad**
Máximo	**10.000 ha**	**50%**
Medio	**5.000 ha**	**30%**
Mínimo	**1.000 ha**	**20%**

NeWater

9. Plan de reconversión de viñedo a regadío:

1- ¿Puede hacer aumentar la superficie de viñedo en regadío?

2- ¿Ocupando superficie de herbáceos en regadío o de viñedo en secano?

Programa de reconversión de viñedo a regadío				
Nº	Nombre	hm^3	Hectáreas correspondientes (dotación de 1.500 m^3/ha)	Probabilidad
1	Máximo	61	40.000	10%
2	Medio	30	20.000	40%
3	Mínimo	15	10.000	40%
4	Nada	0	0	10%

Oriden de los datos: Memoria ambiental del PEAG. Página: 14.

ANEXO 9. Horario de la 4ª reunión con los grupos de interés para construir la red bayesiana de forma participativa. 29 de abril de 2008. Madrid.

Reunión Validación resultados preliminares de las redes bayesianas del Alto Guadiana

Martes 29 de abril de 2008.
Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid.

Programa:

16:30. Recepción. Presentación: Ramón Llamas o Consuelo Varela
Introducción
Presentación de los asistentes.
Explicación del objetivo de la reunión, del programa de la reunión.
Recepción de sugerencias.

16:45. Análisis de la red a escala de acuífero.
- Revisión de los comentarios de los asistentes.
- Breve explicación de la red y aclaración de dudas, tanto respecto a la red como respecto a los resultados preliminares.
- Preguntas sobre aspectos concretos de la red.

17:30. Breve descanso (5 minutos).

17:35. Análisis de la red a escala de explotación.

18:15. Conclusiones de la reunión.
Explicación de la evaluación que se da a los participantes.

ANEXO 10. Cuestionario de evaluación del proceso de participación y de las redes bayesianas como método de participación pública. Presentado el 13 de noviembre de 2008. Ciudad Real.

EVALUACIÓN DEL PROCESO PARTICIPATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE REDES BAYESIANAS

1. ¿Cuáles eran sus expectativas respecto a la participación en la construcción de las redes Bayesianas en Alto Guadiana? ¿Qué esperaba obtener del proceso?

¿En qué medida han quedado satisfechas sus expectativas?

2. ¿Qué piensa respecto al proceso de construcción de las redes Bayesianas de forma participativa? Marque con una X la casilla correspondiente:

Preguntas	Respuesta		
	De acuerdo	En desacuerdo	No sabe
2.1. ¿Siente que sus intereses, preocupaciones y sugerencias han sido incluidos en las redes?			
2.2. ¿El proceso de construcción ha sido útil para usted y para su organización?			
2.3. ¿El proceso ha conseguido mejorar su conocimiento de los problemas elementos y relaciones existentes en la Cuenca Alta del Guadiana?			
2.4. ¿Ha servido para aumentar la transparencia en la Cuenca, entendida como acceso a datos que antes no eran conocidos?			

3. ¿Con qué aspectos está usted especialmente satisfecho e insatisfecho respecto a la herramienta utilizada: las redes Bayesianas? Marque con una X la casilla correspondiente:

Preguntas	Respuesta		
	De acuerdo	En desacuerdo	No sabe
3.1. ¿Cree que es un buen método para ayudar a planificar y gestionar teniendo en cuenta a todos los interesados?			
3.2. ¿Cree que las redes Bayesianas han servido para focalizar las discusiones durante las reuniones y evitar que cada persona hable de aspectos diferentes?			
3.3. ¿Cree que ha ayudado para que las partes interesadas conozcan mejor las preocupaciones y problemas de los otros? ¿Y para que las entiendan mejor?			
3.4. ¿Cree que las redes Bayesianas que se han construido reproducen correctamente la realidad?			
3.5. ¿Cree que es útil el aspecto visual (bolitas, flechas y barras de probabilidad) para entender mejor las relaciones entre las variables que forman el sistema?			

4. ¿Tiene algún otro comentario?

Anexo 11. Figura de la red bayesiana tal y como se ve en el programa HUGIN 6.9. Las letras son muy pequeñas, por lo que se ha construido una nueva con ayuda de otro programa para que se vea mejor. Aún así es interesante incluir la figura tal como se ve en el programa.